

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Propiedades Físicas y Mecánicas de la  
Araucaria angustifolia proveniente de  
plantaciones de Oxapampa**

*Tesis para optar el Título de*  
**INGENIERO FORESTAL**

**François Paul Jost Vargas**

Lima – Perú

2006

## *RESUMEN*

Provee información para cubrir parte de las necesidades de determinar las especies óptimas para utilizar en los proyectos de reforestación que se están llevando a cabo en Oxapampa. La especie en estudio *Araucaria angustifolia* procede de una plantación de 15 años localizada en Oxapampa.

Los resultados permiten describirla en el grupo de propiedades físicas y mecánicas de baja densidad. Teniendo, para la mayoría de las propiedades físico-mecánicas, valores superiores en la parte basal del árbol y decreciendo con la altura. El cizallamiento, compresión perpendicular, flexión estática (ELP y MOR) y dureza tienen un nivel de correlación significativo con la densidad básica, para las dos últimas propiedades este nivel de correlación es alto con coeficientes de determinación que rodean el 80%.

A partir de las características físico-mecánicas, requisitos de uso de la madera y la comparación con especies de densidad básica similar, se han propuesto los siguientes usos:

Madera no estructural en muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, tejas debidamente preservadas, laminado, contrachapado y tableros de fibra y partículas.

# ÍNDICE

	Pág.
1.- INTRODUCCIÓN .....	1
2.- REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1.- Generalidades .....	3
2.2.- Distribución .....	4
2.3.- Aspectos ecológicos .....	6
2.4.- Clima .....	6
2.4.1.- Precipitación .....	6
2.4.2.- Temperatura .....	7
2.5.- Factores edáficos .....	7
2.6.- Descripción del árbol .....	8
2.7.- Madera .....	10
2.7.1.- Características generales .....	10
2.7.2.- Anatomía .....	10
2.7.3.- Propiedades físicas y mecánicas .....	13
2.7.3.1.- Propiedades físicas .....	13
2.7.3.1.1.- Densidad básica .....	14
2.7.3.1.2.- Madera juvenil .....	18
2.7.3.1.3.- Madera de compresión.....	20
2.7.3.1.4.- Contracciones .....	22
2.7.3.1.5.- Variabilidad de las carac- terísticas físico-mecánicas según la altura de árbol.....	24
2.7.3.2.- Resistencia mecánica .....	25
2.7.4.- Trabajabilidad .....	29
2.7.5.- Durabilidad y permeabilidad .....	29
2.7.6.- Secado .....	30
2.7.7.- Usos .....	30
3.- MATERIALES Y METODOS .....	33
3.1.- Materiales y equipos .....	33
3.2.- Metodología .....	35
3.2.1.- Colección de muestras .....	35
3.2.1.1.- Características de la plantación .....	36
3.2.1.2.- Características de los individuos extraídos .....	37
3.2.2.- Procesamiento de trozas .....	39
3.2.3.- Ensayos realizados .....	40
3.2.3.1.- Propiedades físicas .....	40
3.2.3.2.- Propiedades mecánicas .....	40
3.2.3.3.- Evaluación de la variación de las prop- iedades físico-mecánicas por niveles...	45

	Pág.
3.2.4.- Procesamiento de datos y evaluación de resultados .....	47
4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	50
4.1.- Propiedades físicas .....	50
4.1.1.- Contenido de humedad .....	50
4.1.2.- Densidades .....	50
4.1.2.1.- Densidad básica .....	51
4.1.2.2.- Densidad anhidra .....	53
4.1.3.- Contracciones totales y relación T/R .....	54
4.1.3.1.- Contracción volumétrica .....	54
4.1.3.2.- Contracción radial .....	56
4.1.3.3.- Contracción tangencial .....	56
4.1.3.4.- Contracción longitudinal .....	56
4.1.3.5.- Relación T/R .....	57
4.1.4.- Variación de las propiedades físicas dentro del árbol .....	57
4.1.5.- Comparación de las propiedades físicas con otras especies de densidad básica similar .....	60
4.2.- Propiedades mecánicas .....	63
4.2.1.- Flexión estática .....	63
4.2.2.- Compresión paralela .....	65
4.2.3.- Compresión perpendicular .....	66
4.2.4.- Dureza .....	67
4.2.5.- Cizallamiento .....	67
4.2.6.- Tenacidad .....	68
4.2.7.- Tensión perpendicular .....	69
4.2.8.- Clivaje .....	70
4.2.9.- Extracción de clavos .....	71
4.2.10.- Variación de las propiedades mecánicas dentro del árbol .....	71
4.2.11.- Comparación de las propiedades mecánicas con otras especies de densidad básica similar .....	75
4.3.- Madera de compresión .....	80
4.4.- Relación de correlación entre la densidad básica y las principales propiedades estudiadas .....	83
4.5.- Determinación de los usos probables .....	91
5.- CONCLUSIONES .....	93
6.- RECOMENDACIONES .....	95
7.- BIBLIOGRAFÍA .....	96
8.- ANEXOS .....	106

## Lista de cuadros

Nº	Titulo	Pág.
1.	Variación de la densidad básica de <i>A. angustifolia</i> .....	16
2.	Variación de la densidad básica media de <i>Araucaria angustifolia</i> en función de los anillos de crecimiento.....	17
3.	Valores de contracción de la madera de <i>A. angustifolia</i> .....	24
4.	Propiedades Físicas de <i>A. angustifolia</i> de otros autores y de otras especies con densidad básica similar a la especie en estudio.....	27
5.	Propiedades Mecánicas de <i>A. angustifolia</i> de otros autores y de otras especies con densidad básica similar a la especie en estudio....	28
6.	Usos de la <i>A. angustifolia</i> de otros autores y de otras especies con densidad básica similar a la especie en estudio .....	32
7.	Número de Norma por tipo de ensayo realizado en el presente estudio.	40
8.	Selección de trozas de los diferentes árboles para cada nivel para las propiedades físicas .....	45
9.	Clave de probetas por niveles de las propiedades mecánicas .....	48
10.	Valores promedio y coeficiente de variabilidad del contenido de humedad de <i>A. angustifolia</i> después del apeado .....	51
11.	Densidades promedio y medidas de dispersión .....	52
12.	Valores promedio y medidas de dispersión de contracciones totales y relación T/R .....	55
13.	Variación de las propiedades físicas dentro del árbol .....	58
14.	Propiedades de resistencia mecánica de <i>A. angustifolia</i> de 15 años .....	64
15.	Variación de las propiedades mecánicas dentro del árbol .....	72
16.	Propiedades físico-mecánicas de la troza 4 del árbol 5 comparadas con las del promedio general de <i>A. angustifolia</i> .....	81
17.	Coefficientes de determinación y ecuaciones resultantes de las regresiones lineales y cuadráticas .....	85
18.	Usos de la <i>A. angustifolia</i> de 15 años comparada con otras especies de densidad básica similar.....	92

## Lista de figuras

N°	Título	Pág.
1.	Mapa de distribución natural de <i>Araucaria angustifolia</i> .....	5
2.	Detalle de la anatomía de <i>A. angustifolia</i> : corte transversal 50X ...	12
3.	Detalle de la anatomía de <i>A. angustifolia</i> : corte tangencial 50X ....	12
4.	Ecuación de regresión de la densidad básica de <i>A. angustifolia</i> en función de los anillos de crecimiento .....	17
5.	Distribución de la madera de albura y duramen y de madera juvenil y adulta .....	19
6.	Orientación de las microfibrillas en la madera adulta, juvenil y en la madera de compresión .....	21
7.	Curvas de histéresis y de contracción e hinchamiento de <i>A. angustifolia</i> .....	23
8.	Curvas de histéresis y de contracción e hinchamiento de <i>A. angustifolia</i> con madera de compresión.....	23
9.	Croquis de ubicación de la plantación de <i>A. angustifolia</i> .....	38
10.	Aserrado de tablones para elaborar listones de 8 x 8 cm.....	41
11.	Listones de 8 x 8 cm. antes de la selección para la elaboración de las diferentes probetas .....	41
12.	Probetas de clavaje, tensión perpendicular, compresión perpendicular, dureza y extracción de clavos .....	42
13.	Probetas de propiedades físicas, cizallamiento, flexión estática y tenacidad y compresión paralela .....	42
14.	Ensayo de flexión estática con prensa universal .....	43
15.	Prueba de compresión perpendicular a las fibras .....	43
16.	Probadora de tenacidad (con principio de péndulo) .....	44
17.	Probetas de dureza luego de sus respectivas pruebas de resistencia mecánica .....	44
18.	Probetas de propiedades físicas en la estufa eléctrica .....	46
19.	Probetas de resistencia mecánicas en campana desecadora .....	46

	Pág.
20. Variación de las propiedades físicas dentro del árbol .....	59
21. Propiedades físicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con <i>A. angustifolia</i> maduras de otros autores .....	62
22. Propiedades físicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con otras coníferas...	62
23. Propiedades físicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con dos latifoliadas...	62
24. Variación de las propiedades mecánicas dentro del árbol .....	74
25. Propiedades mecánicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con <i>A. angustifolia</i> maduras de otros autores.....	78
26. Propiedades mecánicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con otras Coníferas .....	78
27. Propiedades mecánicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con dos Latifoliadas .....	79
28. Diferencias en las propiedades físicas de la troza 4 del árbol 5 con respecto al promedio .....	82
29. Diferencias en las propiedades mecánicas de la troza 4 del árbol 5 con respecto al promedio .....	82
30. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Flexión Estática (ELP).....	86
31. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Flexión Estática (MOR) ....	86
32. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Compresión Perpendicular (ELP).....	97
33. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Dureza (lados) .....	88
34. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Dureza (extremos).....	88
35. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Clivaje (radial) .....	89
36. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Cizallamiento (radial) .....	90
37. Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Cizallamiento (tangencial)...	90

## Lista de Anexos

Nº	Título	Pág.
1.	Usos de 5 especies según literatura .....	107
2.	Identificación de la especie.....	109
3.	Procedimiento utilizado para el muestreo aleatorio .....	111
4.	Propiedades Físicas detalladas .....	114
5.	Propiedades Físicas y Mecánicas de <i>A. angustifolia</i> de 15 años con otras maduras y con otras especies de características similares .....	116
6.	Propiedades Mecánicas detalladas .....	118
7.	Comparación entre los coeficientes de variabilidad obtenidos y los de Wood Handbook .....	128
8.	Clasificación de las propiedades físico-mecánicas y rango de clasificación propuesto por Aróstegui .....	130
9.	Análisis de variancia para la regresión de las propiedades físicas y mecánicas en función de la densidad básica .....	133
10.	Requisitos de Uso de la madera .....	136



## 1.- INTRODUCCION

En 1947, el pino Paraná era la especie maderable de mayor importancia económica en Brasil, debido a su densidad de población, variedad de usos y facilidad de extracción (GILL, 1947). Servía como fuente de madera aserrada tanto para uso doméstico como para exportación. Su explotación fue la base de la economía forestal de la región hasta los años 70 (De Hoogh, 1981). De los más de 8 millones de hectáreas de bosque de *Araucaria angustifolia* que cubría el estado de Paraná, quedan apenas cerca del 0,8% del bosque original 60 mil ha (FUPEF, 2001).

El Proyecto Peruano-Alemán inició en el año 1979 sus actividades en las provincias de Chanchamayo y Oxapampa, con el principal objetivo de suplir las necesidades de producción de madera, la protección del suelo contra la erosión y la conservación del equilibrio hídrico (Flachseberg, 1985). Esto se lograría mediante la reforestación a partir de la introducción de especies apropiadas, ya sean nativas o exóticas. Entre estas especies exóticas prioritarias se encontraba la *Araucaria spp.* (Melchior, 1983).

Actualmente en dichas provincias se están desarrollando una serie de proyectos de reforestación y plantaciones por lo que se busca conocer cuales podrían ser las especies más adecuadas, que presenten un rápido crecimiento, alto valor

comercial y diversidad de usos. Dentro de este contexto *Araucaria angustifolia* se constituye como una especie promisorio que en nuestro medio ha desarrollado bien pero se carece de información tecnológica que indique la calidad de la madera producida.

El presente estudio tiene por objeto determinar las propiedades físico-mecánicas, grados de variabilidad dentro como entre árboles, así como las relaciones de correlación y ecuaciones de regresión entre la densidad básica – contracciones totales y densidad básica – resistencia mecánica de la madera de *Araucaria angustifolia* proveniente de plantaciones de 15 años de Oxapampa. Las evaluaciones de dichas propiedades permitirán conocer las aptitudes de uso de esta madera.

## 2.- REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades

Según Setoguchi et. al. (1998), *Araucaria angustifolia* es una conífera que pertenece a la familia de las Araucariaceae. Esta familia, del orden de coniferales, esta formada por tres géneros bien definidos que son *Araucaria* conformado por 19 especies de Sudamérica, Sudeste de Asia, Australia e Islas del Pacífico (De Laubenfels 1972, 1988), *Agathis* conformado por 13 especies distribuidas desde Malasia a Nueva Zelanda (Mabberley, 1987) y el género recientemente descubierto (en 1995) *Wollemia* con su única especie *Wollemia nobilis* (Jones et. al., 1995) ubicada en Australia. Todas las especies del género *Araucaria* y la mayoría del género *Agathis* se encuentran restringidos en el hemisferio sur (Florin, 1963)

*Araucaria* es el género mas diversificado de la familia, encontrándose dispersa a lo largo del hemisferio sur: en Chile, Argentina, sur de Brazil, Nueva Caledonia, islas Norfolk, Australia, y Nueva Guinea. La mayor concentración de especies del género se encuentra en Nueva Caledonia, que, a pesar del reducido tamaño de la isla, contiene 13 de las 19 especies de *Araucaria* que son endémicas al lugar y a su vez están bien diversificadas en sus características morfológicas. (De Laubenfels, 1972; Veillon, 1978, 1980).

Dentro de éste género se encuentran sólo 2 especies en América del Sur *A. araucana* oriunda de Chile y Argentina y *A. angustifolia* proveniente del sur de Brasil, norte de Argentina y parte de Paraguay. (Ntima, 1971; Lamprecht,1990)

## **2.2.- Distribución**

Nativa de América del Sur, *Araucaria angustifolia* se distribuye naturalmente desde los 19°15' S hasta los 31°30' S y desde los 41°30' O hasta los 54°30' O (Golfari, 1971). En Brasil cubre los Estados de Rio Grande Do Sul, Santa Catarina, Minas Gerais, y Paraná; en Argentina, la provincia de Misiones (ubicada al noreste de Argentina) y crece ocasionalmente en Paraguay (Laharrague, 2003). La figura 1 ilustra la distribución de *A. angustifolia*.

Esta amplia distribución contribuye a la diferenciación de esta especie en razas geográficas o ecotipos (Gurgel & Gurgel, 1965). Respecto a su distribución altitudinal Maack (1968) señala que varía de los 500 a 2300 msnm, encontrándose preferencialmente entre los 500 y 1800 msnm.

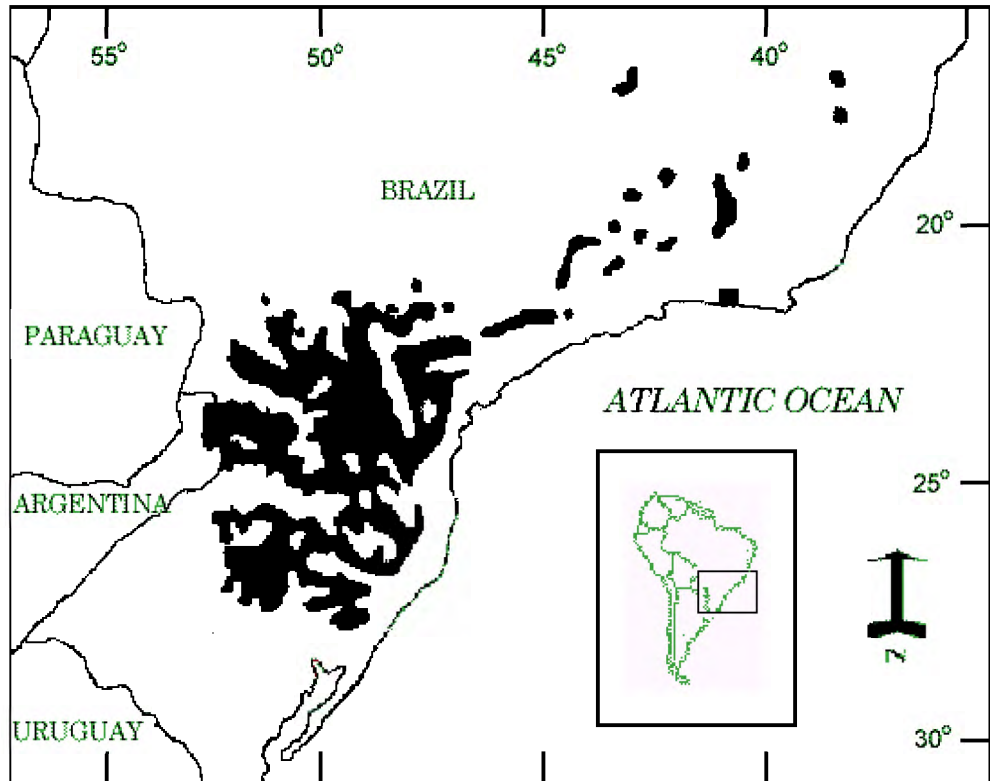


Figura 1: Mapa de distribución natural de *Araucaria angustifolia*

Fuente: Kershaw y Wagstaff, 2001

### **2.3.- Aspectos Ecológicos**

*Araucaria angustifolia* es una especie pionera y heliófita (Reitz & Klein, 1966), es colonizadora de los campos, inclusive en suelos rasos (Hueck, 1961) y longeva llegando a tener en promedio de 140 a 250 años (Carvalho, 1994).

Backes (1973) dice que numerosas evaluaciones realizadas han demostrado que esta especie no se regenera al interior de la floresta; debido a los bajos índices de luminosidad al interior de ésta.

### **2.4.- Clima**

#### **2.4.1.- Precipitación**

El pino de Paraná es una especie de clima subtropical a templado. La precipitación anual promedio esta entre los 1270 mm y los 2210 mm, distribuida uniformemente durante todo el año. No tolera una estación seca rigurosa (Ntima, 1971).

Si bien el pino de Paraná puede desarrollarse exitosamente en zonas con un patrón de pluviosidad similar al sitio natural de la especie, tiene también perspectivas limitadas de buen crecimiento en zonas con lluvias de verano e invierno secas (Golfari, 1963).

#### **2.4.2.- Temperatura**

*A. angustifolia* esta acostumbrada en su hábitat natural a una temperatura media anual de 10° C. hasta 18° C., no obstante se ha desarrollado con éxito en la provincia de misiones, Argentina, fuera de su hábitat natural en zonas con una temperatura de 20° C. (Ntima, 1971).

La temperatura media del mes más frío oscila entre 8,2° C. a 17,3° C.; por otro lado, la temperatura media del mes más cálido esta entre los 17,2° C. y los 24,6° C. Mientras que la temperatura mínima absoluta no debe ser inferior a -11,6° C. (Carvalho, 1994). Rogers (1953) indica que las temperaturas de mayor importancia son la mínima absoluta y la mínima media para el mes más frío.

#### **2.5.- Factores edáficos**

Según Ntima (1971), *A. angustifolia* crece sobre una variedad de suelos derivados de granitos, basalto, dioritas, filitas, piedras areniscas, esquistos y pizarras.

Puede sobrevivir en los suelos pobres y poco profundos. *A. angustifolia* requiere buen drenaje. La cantidad de nutrientes para las plantas disponible en el suelo, más la capacidad del suelo para retener la humedad, parecen ser factores de mayor importancia que la textura del suelo. Rys (1949) añade que, debido a la longitud de la raíz primaria, un suelo fértil profundo es muy importante para obtener un desarrollo óptimo.

Entre los atributos condicionantes del crecimiento se destaca la profundidad efectiva del suelo. En este sentido un espesor de un metro o superior ofrece las condiciones necesarias para alcanzar un buen nivel de productividad, siempre y cuando las características físicas y químicas sean las adecuadas, (Fernández, 1994).

## **2.6.- Descripción del árbol**

**Ramas:** generalmente dispuestas en verticilos de 4-8. (Dallimore y Jackson, 1966)

**Hojas:** son simples, alternas, espiraladas. (Carvalho, 1994). Son verdes o glaucas, lanceoladas sobre las ramas estériles, 3,2 – 6,4 cm de largo y hasta 0,6 cm de ancho; algunas veces se presentan en pares; en las ramas fértiles las hojas son más cortas y dispuestas más densamente, en espiral y en cada caso son largas, puntiagudas, rígidas y coriáceas (Dallimore y Jackson, 1966).

**Flores:** las flores masculinas están en amentos cilíndricos y elongados, de 10 a 22 cm de largo y de 2 a 5 cm de diámetro, con escamas coriáceas; las flores femeninas son estróbilos solitarios y axilares, ovoides, de 6 a 8 cm de largo y de 4 a 6 cm de diámetro (CATIE, 1999).

**Semillas:** color marrón claro, hasta 5 cm de largo, 1,9 cm de ancho y 0,84 cm de espesor (Dallimore y Jackson, 1966)



**Fuste:** Largo, recto casi cilíndrico, libre de ramas en casi toda su extensión y sin defecto, en su mayoría 15 m de longitud (Ntima, 1971). Posee diámetros de 50 a 140 cm (CATIE, 1999).

**Corteza:** es gruesa, llegando a tener hasta 10 cm de espesor en los árboles de mayor edad (Castiglioni, 1975). Es suberosa, rajada y de tonalidad grisácea-oscura (Lamprecht, 1990). Es áspera, rugosa y en la parte superior del fuste se desprende en láminas (Carvalho, 1994)

**Copa:** con follaje horizontal y agrupado en la parte terminal (CATIE, 1999). Los árboles jóvenes presentan una copa piramidal ovalada o columnar. Entre los 12 y los 20 años recién comienza a formarse una copa esférica bien definida, y luego el ápice se achata progresivamente. Este hábito se conserva de 10 a 30 años más. Los extremos exteriores verdes de las ramas que conservan las hojas, se ordenan principalmente en un solo nivel, de modo que poco a poco se forma una umbela aplanada. Las típicas copas umbeliformes de *A. angustifolia* son indicadores de vejez (Lamprecht, 1990).

## **2.7.- Madera**

### **2.7.1.- Características Generales**

*A. angustifolia* posee una albura amarillenta y un duramen café-claro, a veces con rayas de color rojizo a marrón (Lamprecht, 1990). Mainieri y Chimelo (1989) añaden que tiene textura fina y uniforme, fibra recta, superficie lisa al tacto y medianamente lustrosa. Posee un olor a resina muy poco intenso y agradable y sabor poco acentuado también a resina.

### **2.7.2.- Anatomía**

Los anillos de crecimiento están presentes pero son indistintos. No se define bien el contraste entre la hilera final de las traqueidas del leño tardío y las subsiguientes de las traqueidas del leño temprano. Los canales resiníferos están ausentes, pero se puede encontrar algún material resinoso en la madera (Betancourt, 2000).

Mainieri y Chimelo (1989) describen lo siguiente: El parénquima axial es muy escaso o inexistente. Los radios son homocelulares, de células de sección alargada, principalmente uniseriados. Las traqueidas longitudinales son de sección poligonal y contorno redondeado en la región del leño temprano y, en la región del leño tardío, son de sección poligonal con lumen más redondeado y de menor tamaño, casi siempre achatado, consecuentemente presentan paredes ligeramente más espesas

en esa zona. Los espacios intercelulares son más nítidos y de tamaños variables en la región del leño temprano. No posee traqueidas radiales.

Jane (1956) añade que se observan punteaduras aureoladas sobre las paredes radiales de las traqueidas en 1-3 hileras verticales dispuestas indistintamente y en forma alterna. Cuando están muy agrupadas tienden a ser hexagonales. Las punteaduras del campo de cruce son cupresoides, 2-8 por campo de cruce.

Algunos detalles de la anatomía de *A. angustifolia* se pueden observar en las figuras 2 y 3.

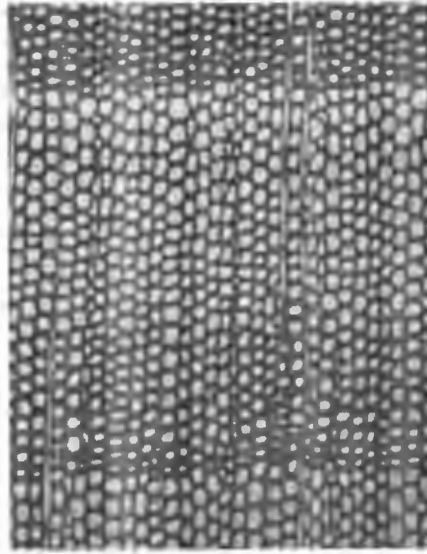


Figura 2: corte transversal 50x



Figura 3: corte tangencial 50x

Fuente: Mainieri y Chimelo, 1989

### **2.7.3.- Propiedades Físicas y Mecánicas**

#### **2.7.3.1.- Propiedades Físicas**

Según Pashin y Zeeuw (1980), básicamente todas las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes en su organización estructural. Estos pueden ser resumidos en cinco categorías:

- 1.- La cantidad de sustancia presente en la pared celular en un volumen de madera determinado.
- 2.- La cantidad de agua presente en la pared celular.
- 3.- La proporción de la composición de los componentes químicos primarios de la pared celular y la cantidad así como la naturaleza de los las sustancias extrañas presentes.
- 4.- El arreglo y orientación de los materiales de la pared en la célula y en los diferentes tejidos.
- 5.- El tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que conforman el tejido leñoso.

El primero de estos factores se mide a partir del peso específico de la madera y provee uno de los índices más útiles para predecir el comportamiento físico de la madera. El segundo factor afecta intensamente el comportamiento físico de la madera en general, no sólo debido a que la adición de agua en las paredes celulares cambia su densidad y dimensiones sino también por los efectos en la plasticidad y la transferencia de energía dentro de la pieza de madera.

### 2.7.3.1.1.- Densidad Básica

La densidad básica es un excelente indicador de la cantidad de material leñoso contenido en una pieza de madera; es también un buen indicador de las propiedades mecánicas siempre y cuando la madera esté limpia y libre de defectos. Sin embargo los valores de densidad básica también reflejan la presencia de gomas, resinas y extractivos, lo cual contribuye muy poco con las propiedades mecánicas (Wood Handbook, 1999). Arntzen (1994) confirma que la densidad básica es un índice de los valores de propiedades mecánicas de la madera libre de defectos y añade que los valores de resistencia mecánica aumentan con el incremento de la densidad básica.

La relación entre la densidad básica y la resistencia mecánica varía según la especie, de tal manera que la relación no predice exactamente los valores individuales para cada especie. De hecho, las propiedades mecánicas dentro de la especie tienden a tener una relación lineal (más que cuadrática) con la densidad básica (Wood Handbook, 1999).

Rijsdijk y Laming (1994) indican que en los experimentos realizados para *A. angustifolia* con y sin madera de compresión, los valores de densidad básica no varían significativamente.

Larson et. al. (2001) explican que cuando la densidad básica esta basada en valores promedio, ésta va a variar dependiendo de su ubicación geográfica, condiciones del lugar y prácticas silviculturales. Sin embargo, sin importar el tipo de

grupos a comparar, usualmente hay mayor variación entre los individuos dentro de un grupo que variación entre los valores promedio de los grupos.

Jankowsky et. al. (1990) encontraron que la madera *A angustifolia* tiene una densidad básica que va de 0,42 a 0,48 g/cm<sup>3</sup>.

Respecto a las variaciones de la densidad básica en el sentido de la médula hacia la corteza, trabajos realizados por Amaral et. al. (1971), cuyos resultados se muestran en el cuadro 1, indican que la densidad básica en los árboles de *A. angustifolia* estudiados se va incrementando desde la médula hacia la corteza. El incremento es bastante acentuado en la madera más próxima a la médula, mientras que en la madera más cercana a la corteza es mucho menor.

CUADRO 1 – Variación de la densidad básica de *Araucaria angustifolia*  
(Bert) O. Ktze.

Sexo	Posiciones				
	Medula	→			Corteza
	1 4 cm	2 8 cm	3 12 cm	4 16 cm	5 20 cm
Masculino	0,434	0,448	0,474	0,482	0,483
Femenino	0,441	0,472	0,497	0,499	0,500

Fuente: Amaral, Ferreira y Bandel, 1971

Bogdol y Ferreira (1974) afirman que la madera de *Araucaria angustifolia* proveniente de plantaciones tiene una variación de la densidad básica entre los anillos de crecimiento que va en el sentido de la medula hacia la corteza. Esta variación se presenta (hasta los 15 años de edad) bajo un efecto acentuadamente lineal cuya ecuación es  $y = 0,334 + 0,013 x$ , incrementándose desde la médula hacia la corteza. El cuadro 2 y la figura 4 ilustran estos resultados.

Los mencionados autores señalan que el aumento de la densidad básica de la madera observado fue acentuado hasta los 9 años de edad, a partir del cual existe una tendencia a que el aumento en la densidad sea menos pronunciado.



CUADRO 2: Densidad básica media de la madera de 4 árboles de *Araucaria angustifolia*, en función a los anillos de crecimiento, en el sentido de la médula a la corteza:

Anillo nº	Densidad Básica Media
1	0,371
2	0,363
3	0,366
4	0,375
5	0,390
6	0,409
7	0,404
8	0,440
9	0,459
10	0,478
11	0,487
12	0,501
13	0,506
14	0,522
15	0,521

Fuente: Bogdol y Ferreira, 1970

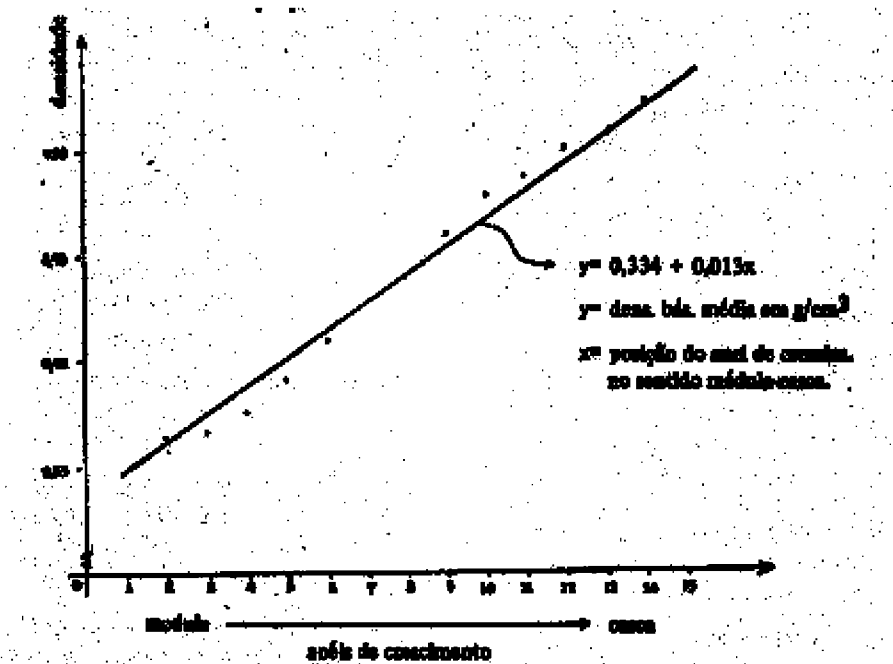


Figura 4: Ecuación de regresión de la densidad básica media de 4 árboles de *Araucaria angustifolia* en función de los anillos de crecimiento

Fuente: Bogdol y Ferreira, 1970

Larson et. al. (2001) añaden que dentro de la madera juvenil la densidad básica se incrementa de manera acentuada con el aumento del número de los anillos de crecimiento; fuera de ésta, la densidad básica continúa aumentando pero su incremento es más regular debido a que el porcentaje de madera de verano es más constante. Sin embargo, el porcentaje de madera de verano no es invariable, y, por ende, los valores de densidad básica pueden variar en un amplio rango debido a los cambios climáticos y condiciones ambientales.

#### **2.7.3.1.2.- Madera juvenil**

Larson et. al. (2001) define a la madera juvenil como la parte de la madera que se extiende fuera de la médula, donde las características de la madera sufren cambios rápidos y progresivos. La madera juvenil difiere de la madura debido a que posee un menor porcentaje de madera de verano, menor densidad básica, traqueidas más cortas con mayores ángulos de fibrillas, y ocasionalmente cantidades desproporcionadas de madera de compresión.

El termino madera juvenil es utilizado incorrectamente puesto que la verdadera madera juvenil sólo se produce durante los tres primeros años de crecimiento; posteriormente, se produce madera similar en la parte interior (alrededor de la medula) a lo largo del fuste, tal como se ilustra en la figura 5.

Según Jozsa y Middleton (1997) la proporción de madera juvenil depende de la edad del árbol y del vigor y desarrollo de la copa viva. Añaden que, a igual

diámetro, un árbol de crecimiento rápido contendrá más madera juvenil que un árbol de crecimiento lento.

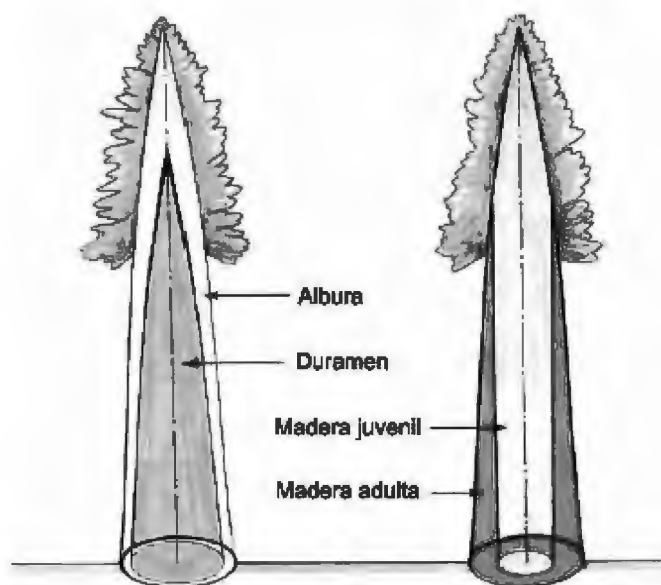


Figura 5: Distribución de la madera de albura y duramen y de madera juvenil y adulta.

Fuente: Jozsa y Middleton, 1997

La presencia de madera juvenil tiene varios impactos sobre las propiedades de la madera como lo son el aumento de la contracción longitudinal (hasta 5 veces superior), aumento de los riesgos de torcedura, resistencia mecánica inferior y menor rendimiento para la producción de pulpa y papel.

Así, el módulo de elasticidad de la flexión estática que contiene madera juvenil puede ser 50 a 60% inferior a la madera que no la contiene. La resistencia máxima en la tracción paralela a la fibra, la resistencia al cizallamiento y a la

compresión perpendicular al grano disminuyen igualmente con una proporción creciente de madera juvenil (Zhang y Gingras, 1998).

#### **2.7.3.1.3.- Madera de compresión**

La madera de compresión ocurre en el lado de la parte baja de los fustes de los árboles inclinados, en la parte inferior de las ramas y justo por debajo de la intersección entre la rama y el fuste. Es una respuesta gravitacional, y su formación tiende a revertir la inclinación del fuste o mantener la posición de una rama. (Larson et. al., 2001)

La madera de compresión se reconoce fácilmente en los anillos de crecimiento excéntricos. Sin embargo, también se puede presentar en anillos que no presentan esta excentricidad. En estos casos, la madera de compresión solo se puede detectar por la coloración oscura de las traqueidas de transición que aparecen como arcos excéntricos en los anillos de crecimiento aparentemente normales. Es fácilmente detectada dada su gran opacidad cuando es vista a trasluz. Según Jozsa y Middleton (1997) su presencia reduce la resistencia mecánica y aumenta la contracción longitudinal. La figura 6 muestra la orientación de las microfibrillas en madera adulta, juvenil y madera de compresión.

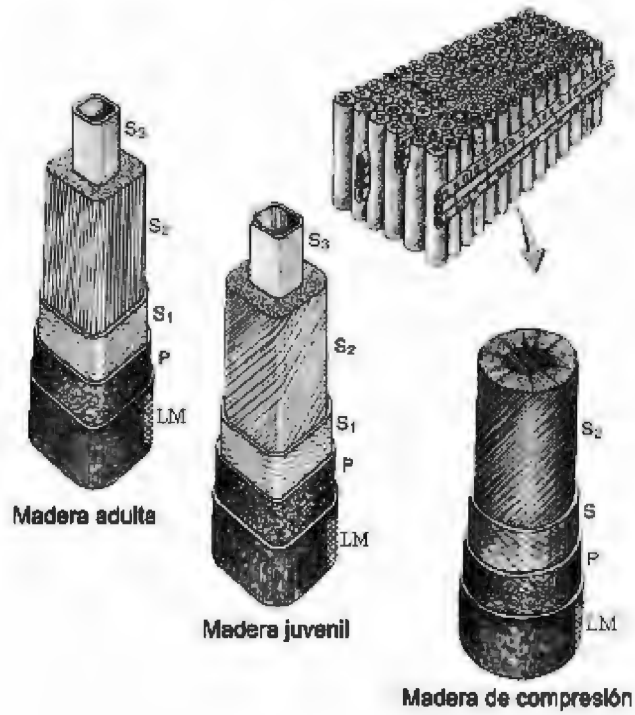


Figura 6: Orientación de las microfibrillas en la madera adulta, juvenil y en la madera de compresión

Fuente: Jozsa y Middleton, 1997

#### **2.7.3.1.4.- Contracciones**

En las figuras 7 y 8 se observan las curvas de histéresis y las de contracción e hinchamiento de *A. angustifolia*, tanto normal como con madera de compresión realizados por Rijdsijk y Laming (1994). En estas curvas se observa que la contracción radial y tangencial son menores en el caso de la madera de compresión. A partir de estas curvas se puede asumir que el punto de saturación de las fibras es de 26% para la madera normal y de 25% en el caso de la madera de compresión. Esto último corrobora lo propuesto por Hale (1951) cuando dice que la madera de compresión posee un menor punto de saturación de las fibras que la madera normal.

Average values of 8 test specimens from 4 trees

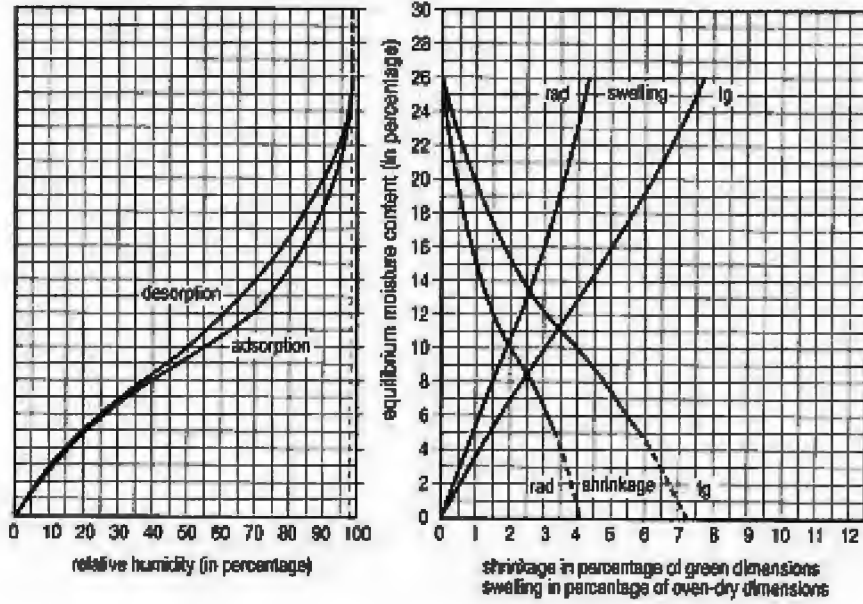


Figura 7: Curvas de Histéresis y de Contracción e Hinchamiento de *Araucaria angustifolia* (Rijsdijk y Laming, 1994)

Average values of 8 test specimens from 4 trees

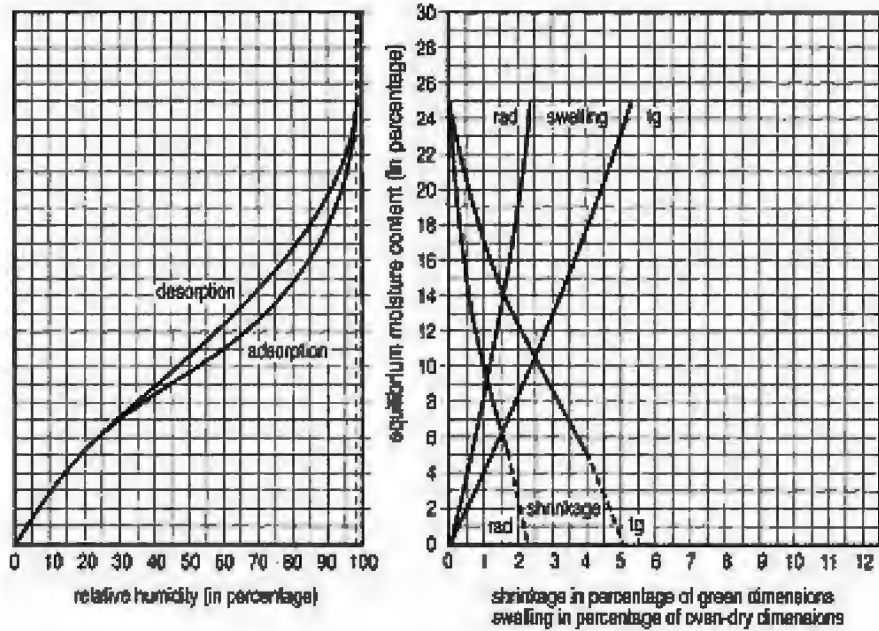


Figura 8: Curvas de Histéresis y de Contracción e Hinchamiento de *Araucaria angustifolia* con madera de compresión (Rijsdijk y Laming, 1994)

Kukachka (1969), señala que la *A. angustifolia* posee buena estabilidad y una reducida contracción total. El cuadro 3, incluye las contracciones totales, al 6% y al 20% de contenido de humedad, que corrobora esta afirmación.

CUADRO 3: Valores de contracción de la madera de *Araucaria angustifolia*

Contracción (%)						
Parcial al 20% de C.H.		Parcial al 6% de C.H.		Total		
Radial	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial	Volumetrica
1.3	2.6	3.2	6.3	4	7.9	11.6

Fuente: Kukachka, 1969

#### **2.7.3.1.5.- Variabilidad de las características físico-mecánicas de la madera según la altura del árbol**

Fachin (1986) describe una disminución de la densidad básica con la altura, en sentido axial del tronco. De la misma manera explica que existe una mayor contracción volumétrica en la madera de la base del tronco la cual va decreciendo significativamente con la altura. En el caso de las propiedades mecánicas de la madera dice que tanto la compresión perpendicular, el cizallamiento y la dureza aumentan con la altura, mientras que la compresión paralela y la flexión estática por el contrario disminuyen.




### 2.7.3.2.- Resistencia mecánica

Ntima (1971) indica que las propiedades de resistencia mecánica de *A. angustifolia* pueden ser comparadas muy favorablemente con las de otras especies coníferas que tienen aproximadamente el mismo peso específico. Advierte también que a diferencia de la mayoría de otras especies, *A. angustifolia* tiene una mayor resistencia en clivaje y tensión perpendicular al grano en el corte tangencial que en el radial

Dohr (1953) añade que *A. angustifolia* es especialmente buena en resistencia al cizallamiento, dureza y capacidad de retención de clavos. Pero es muy deficiente en la resistencia en la compresión perpendicular al grano.

Los valores de resistencia mecánica son influenciados por la presencia de madera de compresión. En el caso de la *A. angustifolia*, Ntima (1971) señala que el modulo de elasticidad en la flexión estática es bajo, especialmente cuando hay madera de compresión. Dohr (1953), añade que esta madera es más bien quebradiza para ser destinada a usos estructurales y lo es mucho más cuando tiene madera de compresión. Kukachka (1969) recomienda que las tablas que presentan madera de compresión no debieran prestar servicio para fines exigentes.

Los cuadros de las propiedades tanto físicas como mecánicas de *Araucaria angustifolia* descritas por otros autores se encuentran en los cuadros 4 y 5 así como los de especies con densidad básica similares 

#### **2.7.4.- Trabajabilidad**

McAdam (mencionado por Ntima, 1971) explica que como es una madera blanda y de fibras largas se debe tener mucho cuidado con la madera de *A. angustifolia* cuando se lija. Es fácil de desenrollar, encola bien y se pinta y barniza con facilidad y de forma uniforme. (Betancourt, 2000). En vista del color del duramen se adapta muy bien a los acabados naturales (Gerry, 1954).

Se cepilla y moldea hasta llegar a un limpio y liso acabado y da buenos resultados en la mayoría de otras operaciones (Kukachka, 1969), pero si hay presencia de madera de compresión puede ocasionar considerable distorsión cuando las tablas son cepilladas o reaserradas (Chudnoff, 1984).

#### **2.7.5.- Durabilidad y Permeabilidad**

El duramen, en cuanto a su durabilidad natural, esta clasificado como no durable (Kukachka, 1969). Ntima (1971) añade que *A. angustifolia* está bien adaptada para uso interno, pero no es resistente al ataque de los termes o de los hongos si no ha sido tratada. El moho y otras decoloraciones se desarrollan rápidamente sobre una chapa de albura no tratada expuesta a una humedad atmosférica de 80%.

Chudnoff (1984) informa que la albura es permeable y el duramen es moderadamente resistente al tratamiento con preservantes.

#### **2.7.6.- Secado**

Uno de los principales defectos de la madera de pino de Paraná secada al horno es la combadura y el agrietamiento. La presencia de madera de compresión es la causa de la combadura pues presenta una contracción intrínsecamente extensa a lo largo de la fibra. Se ha observado que aún las tablas secadas al aire tienden a combarse (Pillow, 1951).

#### **2.7.7.- Usos**

Esta madera se utiliza, principalmente, como madera aserrada para construcción de viviendas, tabiques, revestimiento interior, cielos rasos, pisos, marcos de ventanas, molduras, persianas, puertas, escaleras, bastidores, ebanistería y lápices (Betancourt, 2000).

Ntima, (1971) añade que grandes cantidades de la madera aserrada son destinadas a la industria del mueble y la ebanistería y se usa para tipos más baratos de muebles, tales como mesas de cocina, mangos de herramientas domésticas, partes internas de muebles, incluyendo gavetas y accesorios, mangos de escobas y brochas. La madera es adecuada para receptáculos para transporte, incluyendo cajones, cajas

y para embalar diversos productos. El duramen es apreciado para chapas destinadas a la fabricación de tableros, debido al color atractivo tanto de su albura como duramen, puede ser usada como alma, contrahoja y chapas de cara y contracara.

En vista de sus largas fibras, los desechos de madera y el material procedente de aclareos, pueden ser usados para producir pulpa y papel (Ntíma, 1971)

Produce leña de excelente calidad y la resina de su corteza se utiliza en la elaboración de barnices, acetona, trementina y otros productos químicos. (CATIE, 1999).

En el **cuadro 6** se resumen los usos descritos anteriormente y se compara con los usos de especies que presentan propiedades físico-mecánicas similares a *A. angustifolia* de 15 años del presente estudio. Asimismo en el **anexo 1** se incluyen otros usos.

### **3.- MATERIALES Y METODOS**

El estudio se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la UNALM, con muestras procedentes del distrito de Oxapampa, provincia de Oxapampa, departamento de Pasco.

#### **3.1.- Materiales y equipos:**

##### **Especie:**

La especie estudiada fue *Araucaria angustifolia*, identificación botánica que se realizó en el Laboratorio de Dendrología de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM (ver anexo 2). En éste se determinó que la especie en estudio correspondía a la *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze, proveniente de la familia de las Araucariaceae y tiene como nombre común Araucaria o Pino Paraná y varios sinónimos como Pino Brasileiro, Árbol Candelabro, Pino Blanco y Curiy.

##### **Materiales de campo:**

- Motosierra debidamente equipada

- Cinta metálica
- Wincha métrica
- Machetes
- Marcadores de madera
- Libreta de campo
- Lápices de cera
- Pintura metálica
- Preservante

**Equipo de preparación de probetas:**

- Sierra circular
- Sierra radial
- Garlopa
- Cepilladora
- Prensas
- Lápices de cera

**Equipos de laboratorio:**

- Balanza de precisión
- Estufa eléctrica
- Micrómetro

- Vernier o pie de rey
- Campanas desecadoras con sal higroscópica (silicagel)
- Vasos volumétricos
- Pinzas
- Prensa universal de ensayos mecánicos “Tinius Olsen”
- Accesorios de la prensa
- Probadora de tenacidad (que opera bajo el principio del péndulo)
- Equipo fotográfico digital

**Materiales de gabinete:**

- Computadora
- Materiales de escritorio

**3.2.- Metodología:**

**3.2.1.- Colección de muestras**

Las muestras de madera para el estudio fueron colectadas según lo especificado en la **Norma Técnica Peruana 251.008** “selección y colección de



muestras” que con una seguridad estadística del 95% con intervalos de confianza del 15%, establece coleccionar un mínimo de 5 árboles por especie.

La selección de los individuos a apear se realizó de manera aleatoria dentro de la zona en donde se encuentra la población. Una vez ubicado en el centro de actividad (centro de la plantación), se tomó un rumbo y una distancia obtenidos al azar con ayuda de una tabla de números aleatorios, llegando de esta manera al individuo a seleccionar. De la misma manera se fueron seleccionando el resto de individuos a apear. En el anexo 3 se encuentra el procedimiento detallado de la elección al azar de los individuos.

### **3.2.1.1.- Características de la plantación**

- Ubicación: Departamento de Pasco, Provincia de Oxapampa y Distrito de Oxapampa.
- Área de la plantación: 1,81 Ha.
- Número total de individuos: 725 árboles
- Fecha de plantación: Enero de 1989
  
- Ecología:
  - Altitud: 1800 msnm.
  - Exposición: Este
  - Pendiente: 4%
  - Topografía: Plano con ligera inclinación

Precipitación anual: 1740 mm.

Temperatura media Anual: 7° C. – 14° C.

- Suelo:

Textura: Arenoso

Reacción: pH = 5

Drenaje: Moderado, con presencia de piedras.

- Evaluación de la plantación (Junio 2004):

Numero de árboles evaluados: 126 (17%)

Edad: 15 años

Distanciamiento: 5 x 5 m.

DAP: 31,86 cm.

Altura comercial: 8,29 m.

Altura total: 16,9 m.

### **3.2.1.2.- Características de los individuos extraídos**

Se obtuvieron las siguientes medidas de los árboles extraídos:

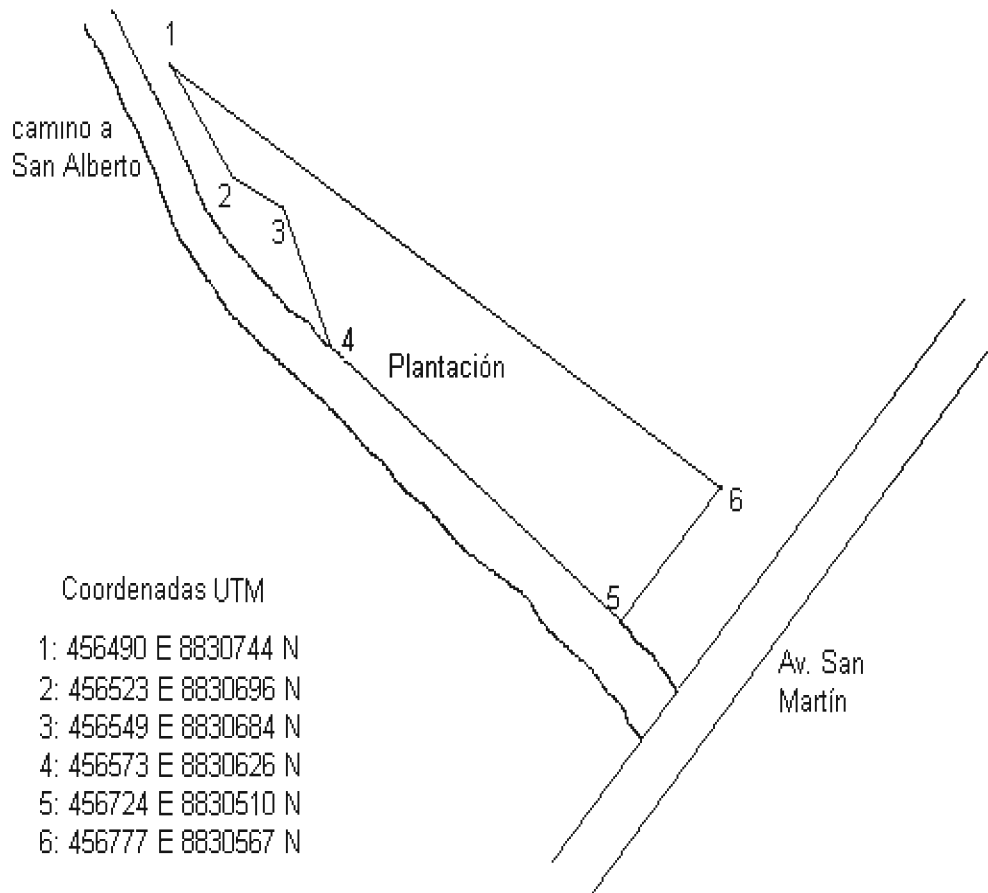
Árbol 1: DAP 39,79cm., altura comercial 8,5 m. y altura total 16 m.

Árbol 2: DAP 37,56cm., altura comercial 11 m. y altura total 17 m.

Árbol 3: DAP 37,88cm., altura comercial 14 m. y altura total 21 m.

Árbol 4: DAP 36,29cm., altura comercial 8 m. y altura total 17 m.

Árbol 5: DAP 41,70cm., altura comercial 9,5 m. y altura total 20 m.



**Figura 9:** Croquis de ubicación de la plantación de *A. angustifolia*

### 3.2.2.- Procesamiento de trozas

Luego de la selección al azar, tumbado y trozado del árbol, se marcaron con el número respectivo de cada árbol y, en orden ascendente a partir de la base del fuste, se numeraron las trozas de 1.40 metros de longitud. El número de trozas varió entre 4 y 6 unidades según la longitud del fuste. Se seleccionaron tres trozas por cada árbol obteniendo de esta forma tres niveles diferentes por árbol, este proceso se realizó también de manera aleatoria.

Se sacaron muestras de los diferentes individuos seleccionados para determinar su contenido de humedad después del apeado.

Las trozas seleccionadas fueron convertidas a tablones buscando que la medula este bien centrada para que estos tengan la mejor orientación posible. Se les aplicó dos capas de preservante en las caras de los tablones y pintura de aluminio en los extremos para ser posteriormente transportados al taller de trabajabilidad de la UNALM.

Una vez allí y con ayuda de una sierra de disco se aserraron los tablones para obtener 4 viguetas de 8 x 8 cm de sección transversal por tablón bien orientadas, sin incluir la albura ni la médula. (ver figuras 10 y 11)

De las viguetas seleccionadas se obtuvieron las probetas para realizar los ensayos físico-mecánicos. (ver figuras 12 y 13)

### 3.2.3.- Ensayos realizados

#### 3.2.3.1. Propiedades Físicas

La determinación de estas propiedades se ciñeron a lo estipulado por las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y se limitaron al contenido de humedad, densidad básica, densidad anhidra y contracciones totales. El cuadro 7 incluye la relación de las normas utilizadas.

#### 3.2.3.2. Propiedades Mecánicas

Se realizaron los ensayos en condición saturada incluyéndose en el cuadro 7 los tipos y normas técnicas utilizadas. Algunos de estos ensayos se encuentran ilustrados en las figuras 14 a 17.

**CUADRO 7:** Número de Norma por tipo de ensayo realizado en el presente estudio

Tipo de Ensayo	N° de Norma
1.- Propiedades Físicas	
1.1.- Método de determinación del Contenido de Humedad	NTP 251.010
1.2.- Método de determinación de la Densidad	NTP 251.011
1.3.- Método de determinación de la Contracción	NTP 251.012
2.- Propiedades Mecánicas	
2.1.- Método de determinación del Cizallamiento paralelo al grano	NTP 251.013
2.2.- Método de determinación de la Compresión Paralela al grano	NTP 251.014
2.3.- Método de determinación de la dureza	NTP 251.015
2.4.- Método de determinación de la Compresión Perpendicular al grano	NTP 251.016
2.5.- Método de determinación de la Flexión Estática	NTP 251.017
2.6.- Método de determinación de la Tenacidad	NTP 251.018
2.7.- Método de determinación del Clivaje	NTP 251.019
2.8.- Método de determinación de la Extracción de Clavos	NTP 251.036
2.9.- Método de determinación de la Tracción Perpendicular a grano	NTP 251.086



Figura 10: Aserrado de tablonces para elaborar listones de 8 x 8 cm.



Figura 11: Listones de 8 x 8 cm. antes de la selección para la elaboración de las diferentes probetas



Figura 12: Probetas de propiedades físicas, cizallamiento, flexión estática, tenacidad y compresión paralela



Figura 13: Probetas de clavaje, tensión perpendicular, compresión perpendicular, dureza y extracción de clavos



Figura 14: Ensayo de flexión estática con prensa universal



Figura 15: Prueba de compresión perpendicular a las fibras





Figura 16: Probadora de tenacidad “Baldwin”



Figura 17: Probetas de dureza luego de sus respectivas pruebas de resistencia mecánica

Las figuras 18 y 19 ilustran parte del proceso de determinación de las propiedades físico-mecánicas. Se utilizó un total de 80 probetas para los ensayos de las propiedades físicas. A diferencia, en la resistencia mecánica se utilizaron 20 probetas para los ensayos de flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, dureza y extracción de clavos; 30 probetas para el ensayo de tenacidad; y 40 probetas para los ensayos de clivaje, tensión perpendicular y cizallamiento paralelo al grano.

### 3.2.3.3.- Evaluación de la variación de las propiedades físico-mecánicas por niveles

Teniendo en consideración que la selección de las trozas es al azar y con la finalidad de evaluar el comportamiento longitudinal de las propiedades físicas se agruparon por niveles A, B y C, según se indica en el cuadro 8:

CUADRO 8: Selección de trozas de los diferentes árboles para cada nivel para las propiedades físicas

Niveles	Numero de troza seleccionado dentro de los diferentes árboles				
	I	II	III	IV	V
A	3	1	1	*	2
B	4	2	2	2	4
C	5	4	*	3	5

\* Eliminado por presencia de nudos



Figura 18: probetas de propiedades físicas en la estufa eléctrica



Figura 19: Probetas de resistencia mecánica en campana desecadora

En relación a las propiedades mecánicas, las muestras seleccionadas para cada propiedad corresponden a 6 probetas para cada nivel. Para el caso de tenacidad se utilizaron 10 probetas para cada nivel. Esta diferencia se debe a que para esta última propiedad se realizaron 30 pruebas. Las probetas fueron seleccionadas según lo indicado en el cuadro 9.

#### **3.2.4.- Procesamiento de datos y evaluación de resultados**

Mediante el uso de los programas Microsoft Excel XP para Windows y Minitab 13.1 para Windows se ingresaron y ordenaron los datos y se analizaron los resultados.

Para realizar el análisis estadístico se determinaron las medias, rangos, desviaciones estándar, curvas y gráficos.

Se realizaron para los casos de tensión perpendicular, tenacidad, extracción de clavos, dureza, clivaje y cizallamiento pruebas t de significación estadística para determinar, en cada caso, si sus valores radiales, tangenciales y en algunos casos de los extremos eran estadísticamente iguales o en caso contrario valores independientes (diferentes).

De la misma manera se realizaron los análisis de varianza y los coeficientes de variabilidad tanto entre árboles como dentro de ellos. Entre los diferentes niveles del árbol se realizaron pruebas de t de significación estadística para las diferentes

propiedades físicas y mecánicas. También se realizó el análisis de regresión simple para determinar la existencia de la influencia de la variable Densidad Básica sobre las diferentes variables tanto físicas como mecánicas.

Posteriormente se determinaron los usos posibles de la especie desde el punto de vista tecnológico.

## **4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1.- Propiedades Físicas**

#### **4.1.1.- Contenido de Humedad**

En el **cuadro 10**, se puede observar los valores de contenido de humedad promedio presentes en la madera inmediatamente después del apeado. Estos valores de humedad en la madera son importantes para los efectos de conocer el peso en función al volumen, que facilita la estimación de los fletes y reduce los posibles problemas con el transporte de la madera.

#### **4.1.2.- Densidad**

En el **cuadro 11** se presentan los resultados, obtenidos a partir de las evaluaciones y cálculos respectivos, de la densidad anhidra y de la densidad básica, incluyéndose los coeficientes de variación correspondientes dentro del árbol, entre árboles así como también los totales.

**CUADRO 10:** Valores promedio y coeficiente de variabilidad del contenido de humedad de *A. angustifolia* después del apeado.

<b>N° de árbol</b>	<b>Contenido de Humedad (%CH)</b>
1	152.67
2	143.90
3	102.55
4	131.35
5	156.50
<b>Promedio</b>	<b>137.39</b>
<b>CV</b>	<b>15,8 %</b>

#### **4.1.2.1.- Densidad Básica**

La densidad básica promedio que se obtuvo es de 0,37 y tiene un rango que va de 0,30 a 0,44. De acuerdo al sistema de clasificación que propone Aróstegui (1982) esta *Araucaria* se encuentra en el grupo 2 (entre 0,30 y 0,40) siendo así una madera de Densidad Baja.

Por otro lado Jankowsky et al. (1990), indica que *A. angustifolia* tiene una densidad básica que va de 0,42 a 0,48 y Chudnoff (1984) determina que ésta es de 0,45 aproximadamente.

Existe una diferencia entre lo expuesto anteriormente y lo descrito por estos autores, donde *A. angustifolia* entra en la clasificación como una madera de densidad media. Esto se debe muy probablemente a que la especie recientemente evaluada proviene de una plantación de sólo 15 años.

El coeficiente de variación es de 10,3% siendo éste similar al valor permisible propuesto por Wood Handbook (1999) de 10%; sin embargo existe una variación significativa de la densidad básica entre los árboles, teniendo así a los individuos 1 y 5 con valores promedio de 0,34 mientras que los árboles 2, 3 y 4 tienen valores promedio de 0,39 y 0,4 conforme se presenta en el anexo 4.

En el cuadro 13 y figura 20 se nota que a medida que se incrementa en altura la densidad va disminuyendo progresivamente.

#### **4.1.2.2.- Densidad Anhidra**

*Araucaria angustifolia* presenta un valor promedio de densidad anhidra de 0,41g/cm<sup>3</sup>, este valor se encuentra en un rango de 0,32 a 0,50g/cm<sup>3</sup> y con un coeficiente de variabilidad de 10,7%. Esta densidad sigue el mismo patrón que la densidad básica en cuanto a sus variaciones tanto dentro como entre árboles como se observa en la figura 20.



#### **4.1.3.- Contracciones totales y relación T/R**

Al respecto, el cuadro 12 presenta los valores promedio de la contracción radial, tangencial y longitudinal, así como la contracción volumétrica y la relación T/R. Este cuadro también incluye los valores de los coeficientes de variación dentro del árbol, entre árboles y totales correspondientes.

##### **4.1.3.1.- Contracción Volumétrica**

La contracción volumétrica de la Araucaria está entre 4,02% y 11,90% teniendo como promedio una contracción de 9,26% con lo cual se encuentra, según lo propuesto por Aróstegui (1982), dentro de las maderas de baja contracción volumétrica.

Esto se debe básicamente a que existe una relación directa entre la densidad básica y la contracción volumétrica, a mayor proporción de pared celular (mayor densidad), mayor será el efecto del agua higroscópica (contracción). Por lo que si se tiene una baja densidad por lo general se tendrá una contracción volumétrica baja como es en el caso del pino Paraná.

El coeficiente de variabilidad es de 16,2% siendo este valor similar al señalado por Wood Handbook (1999) que es de 16%.

#### **4.1.3.2.- Contracción Radial**

La contracción radial es de 3,62% con un rango que va de 1,15% hasta 5,82%. Tiene un coeficiente de variación de 20,9% el cual supera a lo señalado por Wood Handbook (1999) que es de 15%. Esto se debe, al igual que en la densidad básica, debido a la diferencia entre los valores de las trozas 1 y 5 con respecto a las trozas 2, 3 y 4. Se observa una diferencia marcada entre los valores de las trozas basales con respecto a las otras, presentando los primeros valores superiores.

#### **4.1.3.3.- Contracción Tangencial**

La contracción tangencial es de 6,21% con un rango que va de 3,25% hasta 8,05%. Tiene un coeficiente de variación de 16 % el cual supera ligeramente a lo señalado por Wood Handbook (1999) que es de 14%. Se observa también una diferencia marcada entre los valores de las trozas basales con respecto a las otras siendo estos primeros valores superiores.

#### **4.1.3.4.- Contracción Longitudinal**

La contracción longitudinal es de 0,18% con un rango que va de 0% hasta 0,82%. Es debido a este rango tan amplio que se tiene un coeficiente a variación de 95,1%. Esta diferencia puede estar influenciada por la probable presencia de madera juvenil y madera de compresión.

#### **4.1.3.5.- Relación T/R**

La relación T/R en *A. angustifolia* es de 1,72 con un rango que va de 1,05 hasta 3,58. Se tiene un coeficiente de variabilidad de 20,4%.

En el **anexo 4** se incluye la información detallada correspondiente a las diferentes densidades así como a las contracciones totales tanto entre como dentro de los árboles.

Las probetas utilizadas para determinar las propiedades físico-mecánicas no sufrieron ningún tipo de defecto de secado durante el transcurso el mismo.

#### **4.1.4.- Variación de las propiedades físicas dentro del árbol**

En el **cuadro 13** se observan las diferencias entre los tres niveles presentes dentro del árbol así como también el coeficiente de variación presente dentro del árbol.

**CUADRO 13:** Variaciones de las propiedades físicas dentro del árbol

Niveles		Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		Contracciones Totales (%)				Relación T/R
		Básica	Anhídrica	Tangencial	Radial	Longitudinal	Volumétrica	
A		0.38	0.42	6.38	3.93	0.18	9.42	1.69
B		0.37	0.41	5.99	3.32	0.22	8.73	1.82
C		0.35	0.39	5.97	3.55	0.17	9.28	1.78
Promedio		0.37	0.41	6.21	3.57	0.18	9.26	1.64
CV (%)	Dentro	10.61	10.00	16.65	22.19	90.39	17.41	22.09
	Total	10.66	10.34	16.03	20.92	95.11	16.22	20.37

Las pruebas de t de significación estadística de las propiedades físicas entre los tres niveles demuestran que la densidad básica y anhidra poseen diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre los niveles B y C; mientras que en contracción radial los niveles A y B son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Entre los diferentes niveles de las otras propiedades físicas no se encontraron diferencias significativas pero si algunas tendencias mostradas en la **figura 20**.

A ↑  
B  
C

Densidad Básica y Densidad Anhidra

A ↑  
B C

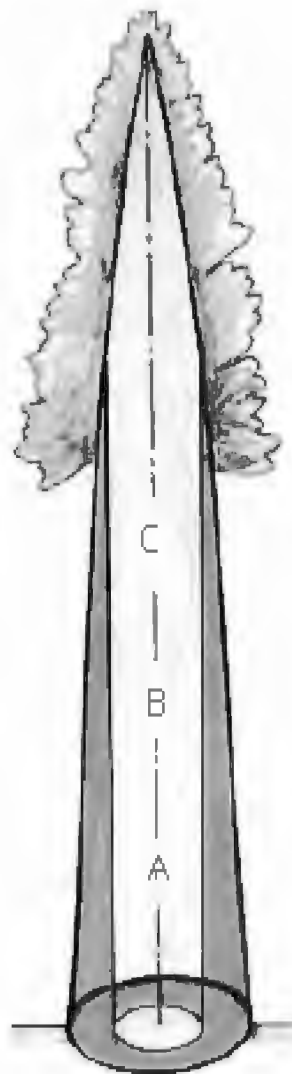
Contracción Radial y Tangencial

A C ↑  
B

Contracción Volumétrica

B ↑  
A C

Contracción Longitudinal



**Figura 20:** Variación de las propiedades físicas dentro del árbol

#### 4.1.5.- Comparación de las propiedades físicas con otras especies de densidad básica similar.

En la comparación de *A. angustifolia* de 15 años con *A. angustifolia* maduras de otros autores se observa que en ambos casos los valores de densidad básica son mayores que el valor obtenido en este estudio, esto se debe principalmente a la temprana edad de los individuos evaluados. La figura 21 ilustra lo expuesto.

Asimismo, y de manera previsible, los valores de las diferentes contracciones totales del pino Paraná de 15 años son menores que los presentados por los otros autores; de la misma manera se obtuvo un valor de la relación T/R menor en el primer caso.

En relación con otras coníferas la *A. angustifolia* de 15 años presenta valores similares a los valores de densidad del abeto Blanco (*Abies concolor*) y del pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*), en tanto que los dos valores del Podocarpus (*Podocarpus sp.*) son superiores. Esto se observa en la figura 22.

En cuanto a las contracciones totales y la relación T/R los valores del abeto Blanco son generalmente superiores (a excepción de la contracción radial), mientras que los del pino Ponderosa se mantienen en promedio similares a los valores del pino Paraná. Los valores del Podocarpus en los dos casos han sido superiores a los del pino Paraná, a excepción de las contracciones totales del Podocarpus descrito por la JUNAC (1981)

Con respecto a las latifoliadas tropicales Catahua amarilla (*Hura crepitans*) y Marupa (*Simaoruba amara*), la especie en estudio posee valores inferiores de densidad que la Catahua amarilla, pero similares a los del Marupa. Sin embargo las contracciones totales y relación T/R de la especie en estudio son superiores a la Catahua amarilla. Por otro lado los valores de contracción tangencial del Marupa son superiores al de la Araucaria mientras que sus valores de contracción radial son inferiores. Esto se observa en la **figura 23**

Los valores promedio de las propiedades físicas de la comparación entre estas especies se detallan en el **anexo 5**.

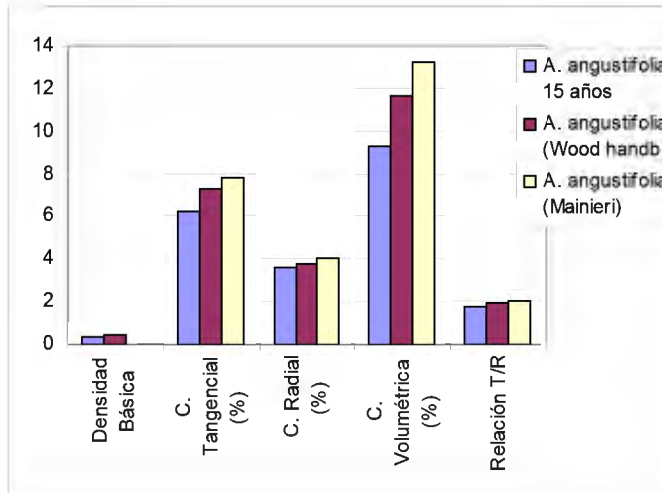


Figura 21: Propiedades físicas de *A. angustifolia* de 15 años con *A. angustifolia* maduras de otros autores

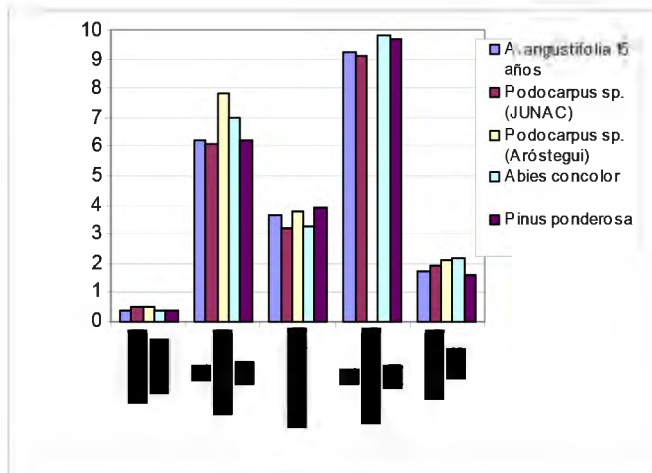


Figura 22: Propiedades físicas de *A. angustifolia* de 15 años con otras coníferas

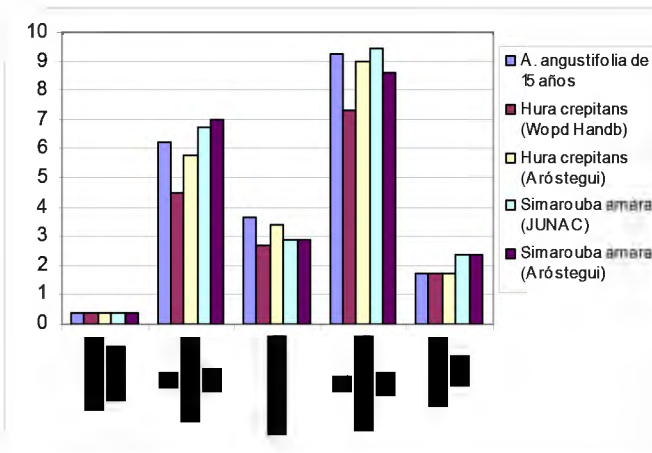


Figura 23: Propiedades físicas de *A. angustifolia* de 15 años con dos latifoliadas



## **4.2.- Propiedades Mecánicas**

Los valores de resistencia mecánica se presentan en el cuadro 14. Dentro de este se muestran los valores promedio de resistencia y las medidas de dispersión obtenidos en condición verde.

Como consecuencia de los resultados de las pruebas t de significancia estadística, en los casos de tenacidad, extracción de clavos y dureza los valores en el sentido radial y los valores en el sentido tangencial son estadísticamente iguales por lo que se trabajó con estos datos como si pertenecieran a un mismo grupo muestral. En el resto de los casos se trabajaron los valores de los sentidos radial, tangencial y de los extremos de manera independiente.

### **4.2.1.- Flexión Estática**

Se puede observar que los valores obtenidos en la flexión estática son 271 Kg/cm<sup>2</sup> para el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional, 402,8 Kg/cm<sup>2</sup> para el módulo de ruptura y 78 950 Kg/cm<sup>2</sup> para el módulo de elasticidad, con coeficientes de variabilidad de 12,9%, 11,3% y 17,7%

respectivamente, los cuales se encuentran por debajo de los descritos por Wood handbook (1999) que son 22%, 16% y 22% respectivamente.

Según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982), el módulo de ruptura en flexión estática es catalogado como bajo encontrándose además que en el esfuerzo al límite proporcional así como el módulo de ruptura tiene valores que van disminuyendo a medida que aumenta en altura, mientras que el módulo de elasticidad se mantiene estable en los dos primeros niveles (A y B) y desciende de manera notoria en el último nivel (C).

#### **4.2.2.- Compresión Paralela**

Los valores promedios de la compresión paralela de *Araucaria angustifolia* son 131,6 Kg/cm<sup>2</sup> en el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional, 148,9 Kg/cm<sup>2</sup> en el módulo de ruptura y 81 620 Kg/cm<sup>2</sup> en el módulo de elasticidad. Estas tres propiedades tienen coeficientes de variabilidad de 21,68%, 15,66% y 15,39% respectivamente que están por debajo de los valores presentados en el Wood handbook (1999) siendo estos últimos de 24%, 18% y 29% respectivamente.

Según la clasificación que presenta Aróstegui (1982), la compresión paralela es baja debido a que su módulo de ruptura se encuentra entre 120 y 240 Kg/cm<sup>2</sup>; encontrándose una gran diferencia entre los valores de los árboles 1, 2 y 5 con los de los árboles 3 y 4, siendo estos últimos claramente inferiores, para las tres

propiedades, a excepción del módulo de elasticidad en donde sólo varía significativamente el árbol 4.

Se observa en el cuadro 15, las diferencias dentro del árbol que, aunque mínimas, en los tres casos en el nivel intermedio (B) se tienen valores inferiores.

#### **4.2.3.- Compresión Perpendicular**

El esfuerzo promedio al límite proporcional en la compresión perpendicular es de 22,7 Kg/cm<sup>2</sup>, teniendo valores que están entre 17,5 Kg/cm<sup>2</sup> y 33,1 Kg/cm<sup>2</sup> y un coeficiente de variabilidad de 17,9%. Este último valor se encuentra muy por debajo del valor determinado por el Wood Handbook (1999) que es de 28%. Asimismo los valores encontrados en los árboles 1 y 5 son relativamente inferiores a los de los otros individuos. Se observa también que los valores en el nivel basal (A) superan significativamente a los niveles B y C.

Según la clasificación que presenta Aróstegui (1982), la compresión perpendicular es baja debido a que su valor promedio se encuentra entre 10 y 40 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.2.4.- Dureza**

En sus extremos presenta un valor promedio de 264,9 Kg/cm<sup>2</sup> y en los lados, valores promedios de 245,9 Kg/cm<sup>2</sup> en el sentido radial y 237,3 Kg/cm<sup>2</sup> en el sentido tangencial. El coeficiente de variabilidad de la dureza en los extremos es de 20,3% siendo similar al expuesto en el Wood Handbook (1999) que es de 20%. Por el contrario, el coeficiente de variabilidad de la dureza de lados (30,4%) es superior al valor descrito en el Wood Handbook (1999) que es de 17%.

En cuanto a la diferencia entre árboles, se encuentra que los valores de dureza en los extremos son menores en los individuos 1 y 5. Para el caso de la dureza de lados únicamente el árbol 1 tiene valores significativamente inferiores.

Se observa que los valores de dureza (tanto de lados como en los extremos) en el nivel A superan considerablemente a los valores en los niveles B y C.

Según la clasificación que presenta Aróstegui (1982), la dureza de lados es baja debido a que su valor promedio se encuentra entre 100 y 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.2.5.- Cizallamiento**

El valor promedio obtenido en sentido radial es de 55,3 Kg/cm<sup>2</sup> en el sentido radial y 66,8 Kg/cm<sup>2</sup> en el sentido tangencial. Los coeficientes de variación para el caso del cizallamiento radial es de 20,3% y en el sentido tangencial de 19,2%.

Ambos valores son superiores al descrito por Wood Handbook (1999) que es de 14%.

Los valores del árbol 5 son muy inferiores que los de los otros individuos para el cizallamiento radial mientras que para el tangencial la diferencia se encuentra en el árbol 3 que presenta valores largamente superiores a los de los otros árboles.

Asimismo, se observa para el cizallamiento tangencial, que los valores en el nivel A superan ampliamente a los de los niveles superiores (B y C). Mientras que para el caso del cizallamiento radial existe una variación en forma decreciente pero continua desde la base (nivel A) hasta el nivel superior (C).

Según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982), el cizallamiento en el sentido radial es bajo, mientras que en el sentido tangencial es medio; estando el valor promedio del primero entre 30 y 60 Kg/cm<sup>2</sup> y del segundo entre 61 y 90 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.2.6.- Tenacidad**

El valor promedio obtenido es de 1,02 Kg-m con un rango que va de 0,21 hasta 2,19 Kg-m. Por consiguiente su coeficiente de variabilidad es de 50,2% valor que supera en gran medida el propuesto por Wood Handbook (1999) que es de 34%. Esto está dado por las diferencias marcadas entre los valores de la troza 4 del árbol 2 (0,21 y 0,59 Kg-m) y la troza 1 del árbol 3 (ésta última con valores de 2,06 a 2,19

Kg-m), es menester precisar que en todos los casos el tipo de fallas presentadas corresponde a quebradura.

Observando la variación entre árboles para el caso de tenacidad se encuentra una diferencia en el árbol 3 el cual presenta valores ampliamente superiores a los de los otros árboles.

Los valores de tenacidad en el nivel más basal (A) superan considerablemente a los valores de los niveles superiores (B y C).

#### **4.2.7.- Tensión Perpendicular**

Para esta propiedad se obtuvieron dos valores promedio, el primero, en el sentido radial, es de 19,2 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el segundo, en el sentido tangencial, es de 33,4 Kg/cm<sup>2</sup>. Se demuestra con estos resultados lo señalado por Ntuma (1971) donde describe que, a diferencia de otras especies, los valores de tensión perpendicular de *A. angustifolia* en el sentido tangencial son mayores que en el sentido radial.

El coeficiente de variabilidad es de 12,2% en el sentido radial y 11% en el tangencial, valores que se encuentran muy por debajo al propuesto por Wood Handbook (1999) que es de 25%.

Los valores del árbol 1 para el caso de tensión perpendicular en el sentido radial fueron muy superiores a los valores de los otros individuos. Los valores obtenidos en el sentido tangencial de esta propiedad no tuvieron una diferencia significativa entre árboles.

Los valores del nivel A, en el sentido tangencial de esta propiedad, superan considerablemente a los valores de los niveles superiores B y C. Para el caso del sentido radial no existen diferencias significativas en los valores de los diferentes niveles.

#### **4.2.8.- Clivaje**

Se obtuvieron dos valores promedios, en el sentido radial de 25,8 Kg/cm y en el sentido tangencial de 39,1 Kg/cm. Su coeficiente de variabilidad es de 14,4 % en el sentido radial y de 12 % en el tangencial. En el caso del clivaje radial existe una diferencia entre los valores del árbol 5 (que son menores) y los de los otros árboles. Mientras que en el clivaje tangencial se observa que los individuos 1 y 2 tienen valores marcadamente inferiores a los valores de los árboles 3 y 4.

En cuanto a la variación dentro del árbol los valores de clivaje radial y tangencial no varían significativamente entre los diferentes niveles del árbol.

#### **4.2.9.- Extracción de clavos**

En sus extremos tienen un valor promedio de 64,2 Kg y en los lados un valor promedio de 91,8 Kg. Los coeficientes de variabilidad son de 21,5 % y de 20,2 % respectivamente.

En el caso de los valores de extracción de clavos para lados, son similares en los niveles A y B y disminuyen de manera notoria en el último nivel (C). Por el contrario los valores de extracción de clavos para extremos varían significativamente entre el primer nivel (A) y los otros dos niveles superiores (B y C).

Los valores del árbol 5 son inferiores que los de los otros individuos para la extracción de clavos en los lados, mientras que para el caso de los extremos los valores son similares entre árboles.

En el **Anexo 6** se incluye información detallada de todos los resultados correspondientes a las evaluaciones de resistencia mecánica.

#### **4.2.10.- Variación de las propiedades mecánicas dentro del árbol**

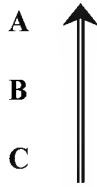
En el **cuadro 15** se presentan las diferencias entre los tres niveles A, B y C presentes dentro del árbol así como sus respectivos coeficientes de variación.



Las pruebas de t de significación estadística entre los diferentes niveles muestran que en el caso de dureza (tanto de lados como de extremos), tensión perpendicular tangencial, compresión perpendicular y tenacidad los niveles A y B son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Mientras que entre los mismos niveles se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) para el caso de la extracción de clavos en los extremos. En el caso de la extracción de clavos de los lados se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los niveles B y C; entre los mismos niveles, para el caso del módulo de elasticidad de la flexión estática, se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ).

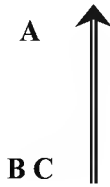
Estas diferencias significativas encontradas entre los diferentes niveles reflejan que estas propiedades mecánicas mantienen una relación más estrecha con la densidad básica (mayor dependencia). Esta relación se puede observar comparando los cuadros 13 y 15.

Entre los diferentes niveles de las otras propiedades de resistencia mecánica no se encontraron diferencias significativas pero si algunas tendencias mostradas en la **figura 24**.



Flexión estática (ELP y MOR) y

Cizallamiento Radial



Compresión perpendicular, Dureza,

Cizallamiento Tangencial, Tenacidad,

Tensión Perpendicular Tangencial y

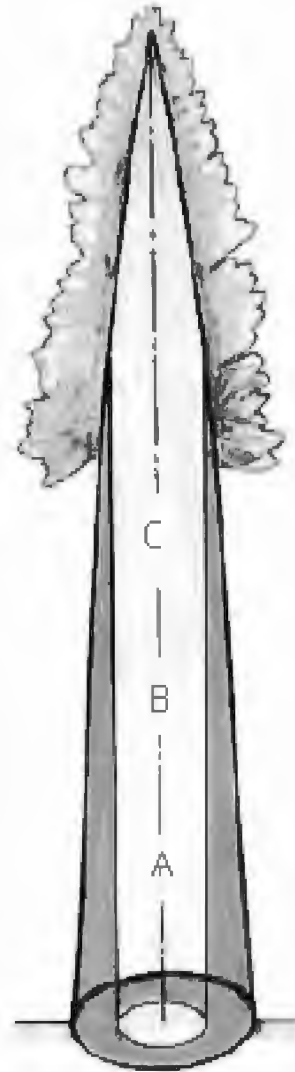
Extracción de clavos (Extremos)



Compresión Paralela



Flexión estática (MOE) y Extracción de clavos (Lados)



**Figura 24:** Variación de las propiedades mecánicas dentro del árbol

#### 4.2.11.- Comparación de las propiedades mecánicas con otras especies de densidad básica similar

En la comparación de *A. angustifolia* de 15 años con *A. angustifolia* maduras de otros autores se observa que a excepción del esfuerzo límite proporcional en flexión estática y del clivaje, la *Araucaria* adulta descrita por los otros autores tiene valores de resistencia mecánica superiores a los valores de la *Araucaria* del presente estudio. Este resultado se da principalmente debido a la reducida edad de los individuos evaluados. La **figura 25** ilustra lo mencionado.

En relación con otras coníferas la *A. angustifolia* de 15 años presenta valores de resistencia mecánica inferiores que los del *Podocarpus* corroborando la relación con la densidad básica. Esto se puede observar en la **figura 26**.

Por el contrario y pese a tener densidades básicas similares los valores de resistencia mecánica de la *Araucaria* son mayores que los del *Abies concolor* y del *Pinus ponderosa*, a excepción del valor del módulo de ruptura de la compresión paralela en donde estos últimos tienen valores superiores.

Con respecto a las latifoliadas tropicales *Catahua amarilla* (*Hura crepitans*) y *Marupa* (*Simaoruba amara*), la especie en estudio posee valores inferiores a los de la *Catahua amarilla* en los casos de módulo de ruptura tanto de flexión estática como de compresión paralela y en los de compresión perpendicular. En las otras

propiedades de resistencia mecánica la Araucaria tiene valores superiores, tal como se observa en la **figura 27**.

En cuanto a los valores del Marupa son en general similares a los de la Araucaria a excepción de los valores de compresión paralela que son superiores en el Marupa, y los valores de dureza que son superiores en el pino Paraná.

Los valores promedio de las propiedades mecánicas de la comparación entre estas especies se detallan en el **anexo 5**.

En el **anexo 7** se presenta el cuadro comparativo de los diferentes coeficientes de variabilidad obtenidos a partir de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas y los valores correspondientes propuestos por Wood Handbook (1999). En este cuadro se observa, tal como se detalló en cada caso anteriormente, que tanto la contracción volumétrica como la densidad básica tienen valores de coeficiente de variabilidad similares al expresado por Wood Handbook (1999), mientras que los valores de flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y tensión perpendicular son inferiores. Esto último muestra que la madera es homogénea.

Por el contrario se observa que tanto los valores de dureza, cizallamiento y tenacidad son superiores a lo expuesto por Wood Handbook (1999), esto esta dado debido a la diferencia marcada entre los valores obtenidos en el nivel basal A y los obtenidos en el nivel C en estas propiedades. Estas diferencias denotan la relación de

estas propiedades con la densidad básica. Para el caso de tenacidad, el alto valor del coeficiente de variabilidad también puede estar dado por la posible presencia de madera quebradiza, la cual ofrece una baja resistencia al impacto.

En el **anexo 8** se observan los resultados obtenidos de las diferentes propiedades físico-mecánicas en base al rango de clasificación propuesto por Aróstegui (1982).

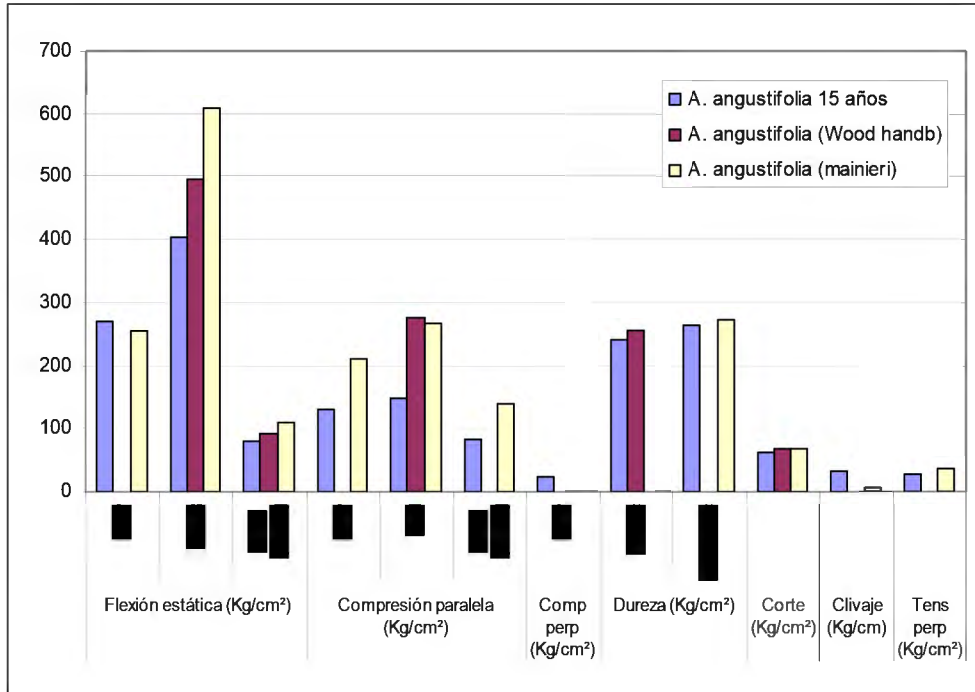


Figura 25: Propiedades mecánicas de *A. angustifolia* de 15 años con *A. angustifolia* maduras de otros autores

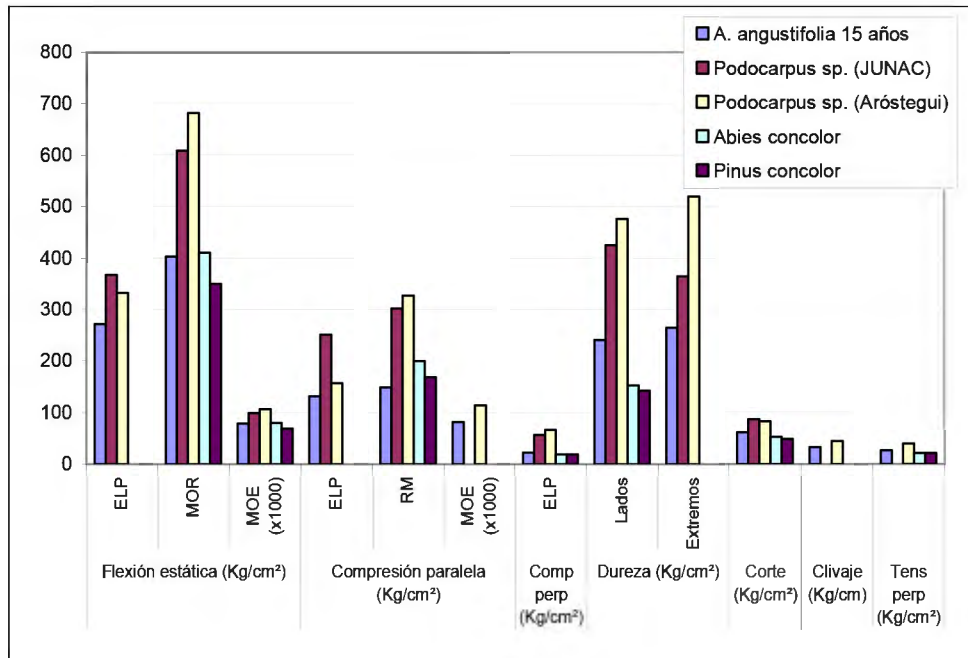


Figura 26: Propiedades mecánicas de *A. angustifolia* de 15 años con otras coníferas

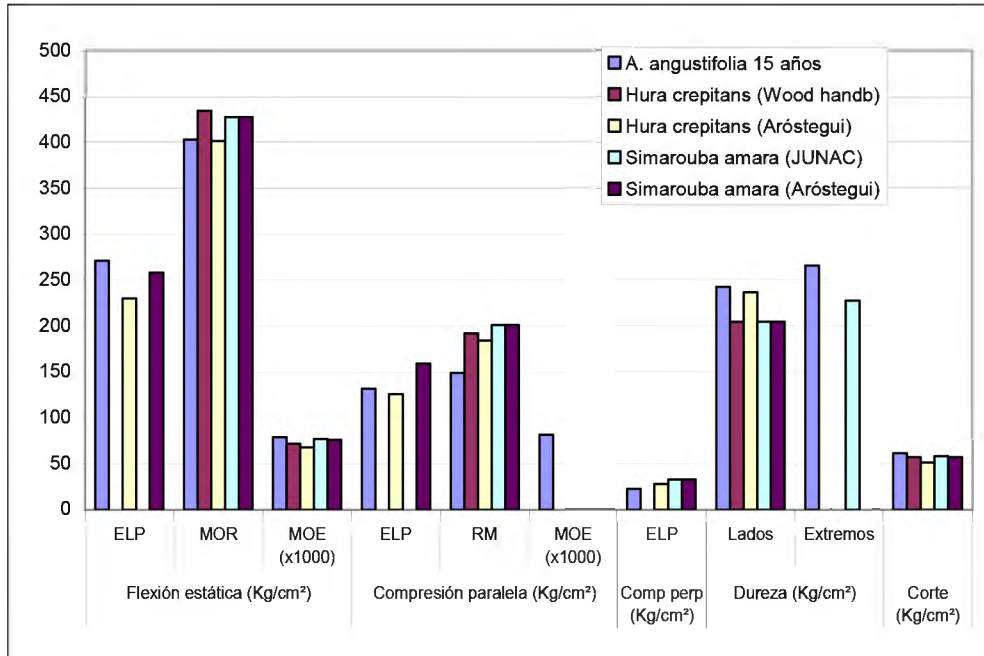


Figura 27: Propiedades mecánicas de *A. angustifolia* de 15 años con dos latifoliadas

### 4.3.- Madera de compresión

Los resultados experimentales de la troza 4 del árbol 5 hacen sospechar la presencia de madera de compresión, puesto que sus propiedades físicas se diferencian de manera significativa; puede observarse que poseen mayor contracción longitudinal que sus similares, corroborando de esta manera lo expuesto anteriormente por Pillow (1951) y por el contrario las contracciones radial, tangencial y volumétrica presentan valores menores y siguen el patrón de las curvas realizadas por Rijdsdijk y Laming, 1994, mostradas en las figuras 7 y 8. Las densidades anhidra y básica no varían significativamente, esto coincide con lo señalado por Rijdsdijk y Laming (1994).

De la misma manera se evaluaron diferencias en cuanto a los valores de resistencia mecánica pero las que se hallaron no fueron significativas. Aún así se pudo observar un ligero incremento para la compresión paralela, mientras que las propiedades de resistencia mecánica, especialmente dureza, compresión perpendicular y extracción de clavos disminuyeron en esta troza tal como lo expone Dohr (1953). Estas diferencias se presentan en el cuadro 16 y se ilustran en las figuras 28 y 29.



**CUADRO 16:** Propiedades físico-mecánicas de la troza 4 del árbol 5 comparadas con las del promedio general de *A. angustifolia*

Propiedades		Promedio Total	Arbol 5 Troza 4
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Anhidra	0.41	0.39
	Básica	0.37	0.36
Contracción (%)	Tangencial	6.21	4.14
	Radial	3.62	2.55
	Longitudinal	0.18	0.52
	Volumétrica	9.26	6.82
Relación T/R		1.72	1.73
Compresión Paralela (kg/cm <sup>2</sup> )	ELP	131.62	150.10
	RM	148.89	161.65
	MOE (x1000)	81.62	97.08
Compresión Perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> ) (ELP)		22.65	18.14
Extracción de Clavos (Kg)	Radial	89.70	73.95
	Tangencial	93.87	81.59
	Extremos	64.23	54.97
Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )	Radial	245.89	213.21
	Tangencial	237.31	198.26
	Extremos	264.89	239.89
Clivaje (Radial) (kg/cm)		25.84	22.93
Tension perpendicular (Radial) (kg/cm <sup>2</sup> )		19.20	16.81
Tenacidad (Kg-m)		1.019	0.81

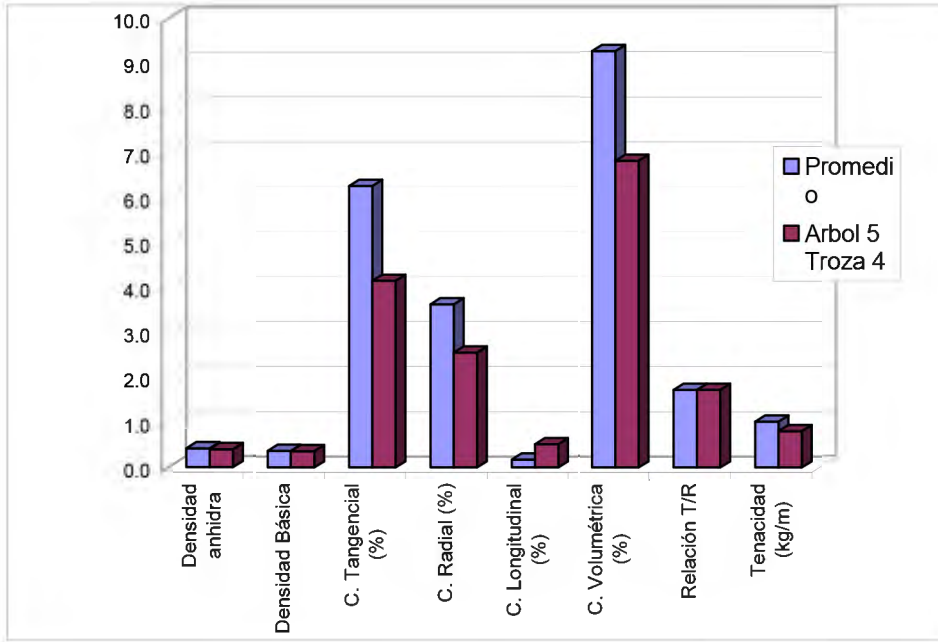


Figura 28: Diferencias en las propiedades físicas de la troza 4 del árbol 5 con respecto al promedio

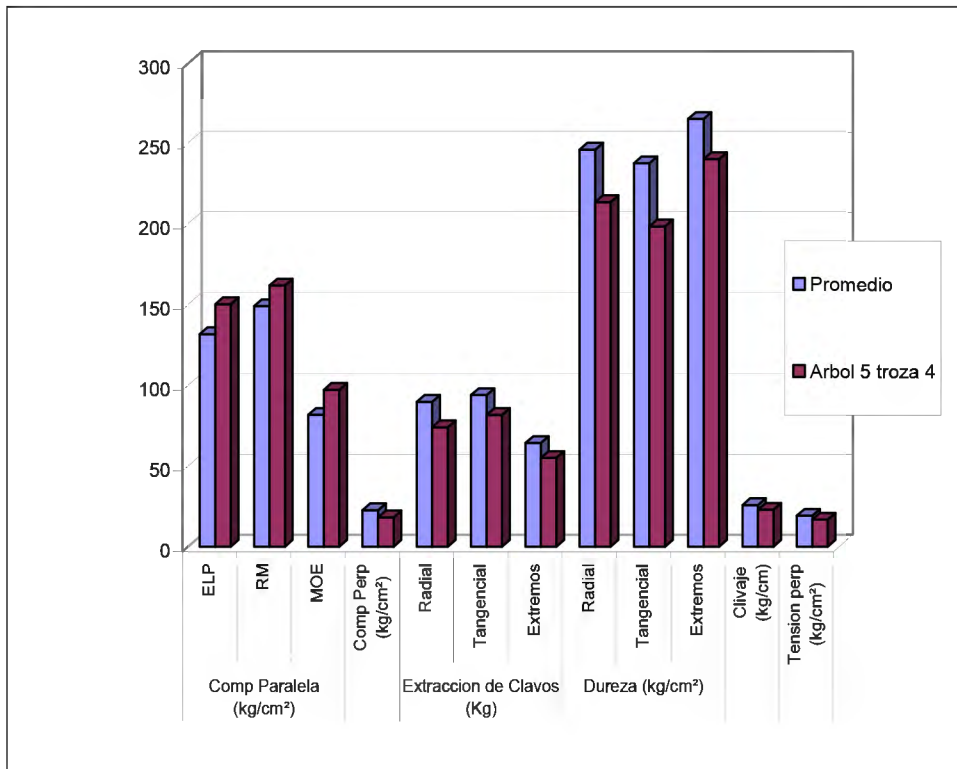


Figura 29: Diferencias en las propiedades mecánicas de la troza 4 del árbol 5 con respecto al promedio

#### **4.4.- Relación de correlación entre la densidad básica y las principales propiedades estudiadas**

Los resultados del análisis de variancia se encuentran representados en el cuadro 17 y detallados en el anexo 9. Este análisis se ha realizado mediante regresiones lineales así como cuadráticas de las propiedades físicas y mecánicas en función a la densidad básica; se pueden observar las ilustraciones en las figuras 30 a 51.

A partir de estas se puede observar que no existe correlación entre la densidad básica y las contracciones tangenciales, longitudinales y volumétricas; de la misma manera tampoco la hay entre la densidad básica y la compresión paralela, el módulo de elasticidad de la flexión estática, la tensión perpendicular en el sentido radial y el clivaje en el sentido tangencial.

Por otro lado se puede decir que en los casos de contracción radial, tensión perpendicular en el sentido tangencial, clivaje en el sentido radial, tenacidad y extracción de clavos tanto por los lados como por los extremos, los análisis de regresión y correlación indican que si bien existe correlación con la variable densidad básica ésta no es significativa teniendo un coeficiente de correlación menor a 0,7 en todos los casos (coeficiente de determinación menor a 50%).

Los análisis de regresión y correlación del esfuerzo al límite proporcional y del módulo de ruptura en flexión estática, compresión perpendicular, dureza de lados y

extremos y cizallamiento (tanto radial como tangencial) con la variable densidad básica indican que estas correlaciones son significativas. En consecuencia la variable densidad básica se puede utilizar para predecir los valores de resistencia de éstas propiedades. En los casos específicos de módulo de ruptura en flexión estática y dureza (de lados y extremos) se observan altos niveles de correlación con la variable densidad básica (al tener coeficientes de determinación próximos al 80%).

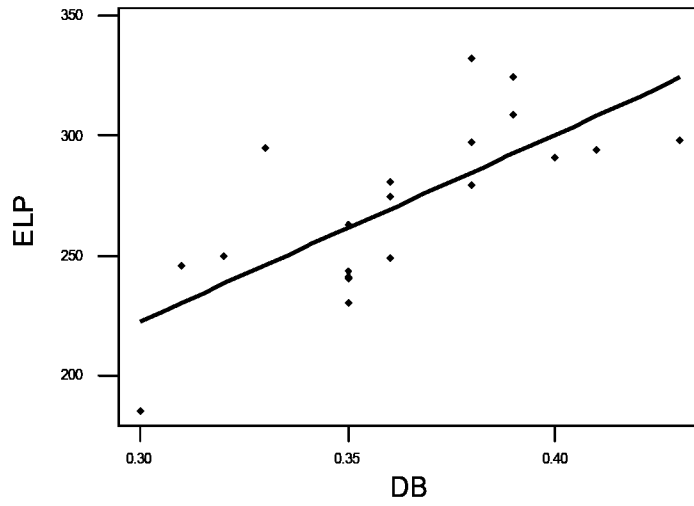


Figura 30: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Flexión Estática (ELP)

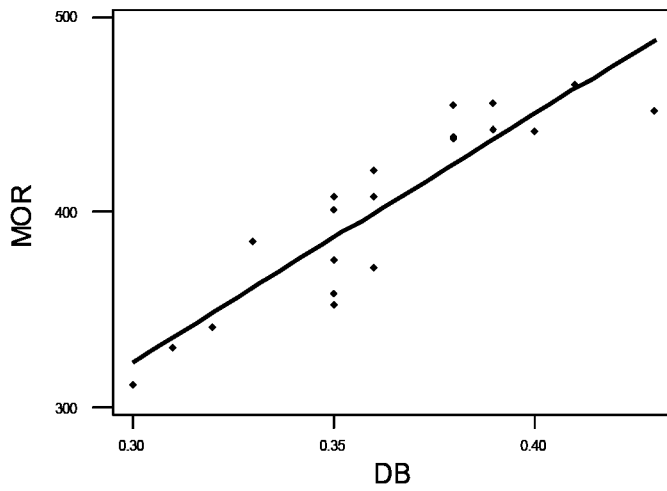


Figura 31: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Flexión Estática (MOR)

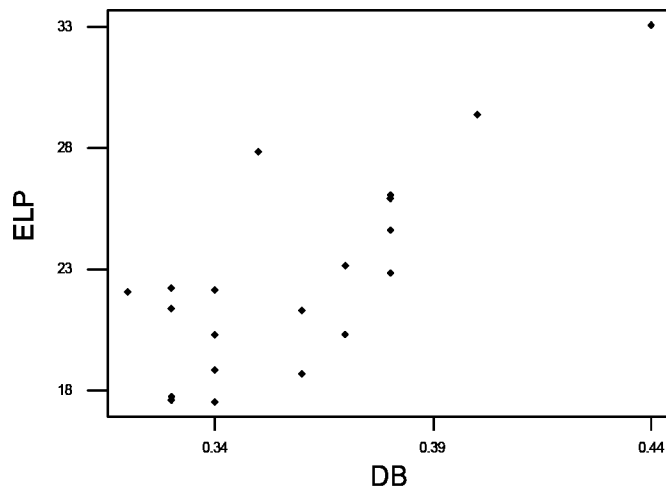


Figura 32: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Compresión Perpendicular (ELP)

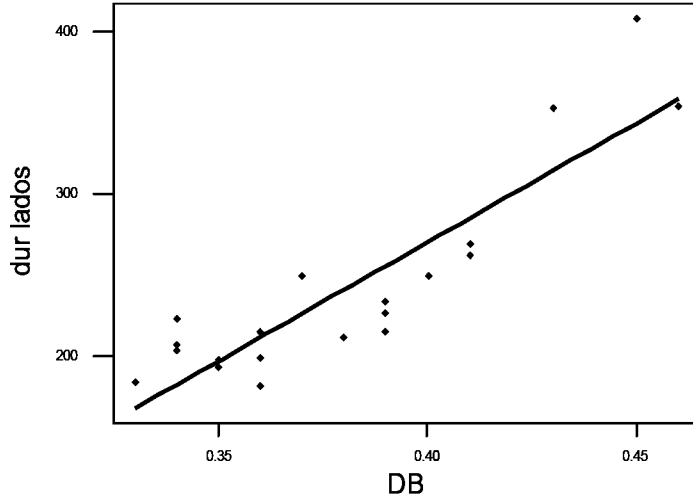


Figura 33: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Dureza (lados)

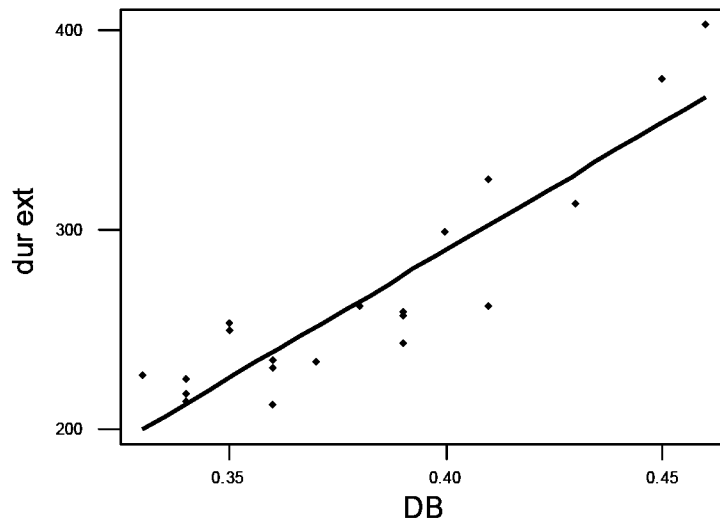


Figura 34: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Dureza (extremos)

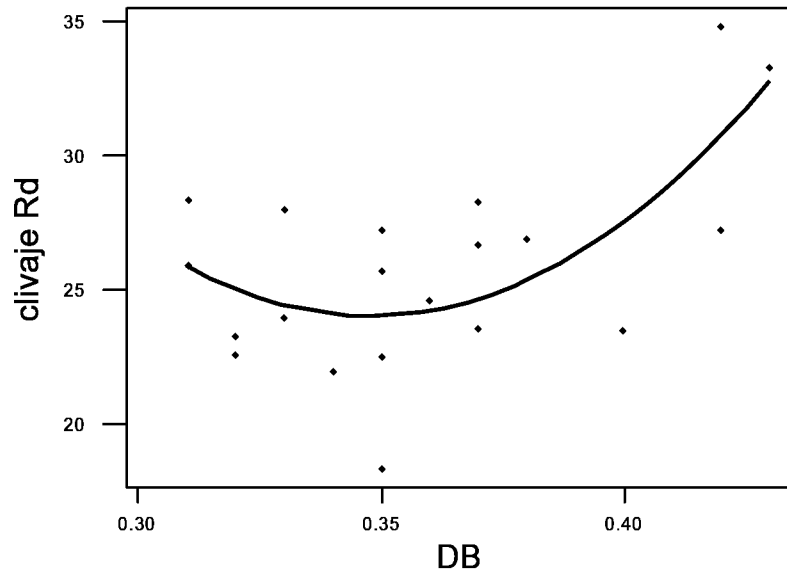


Figura 35: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Clivaje (radial)



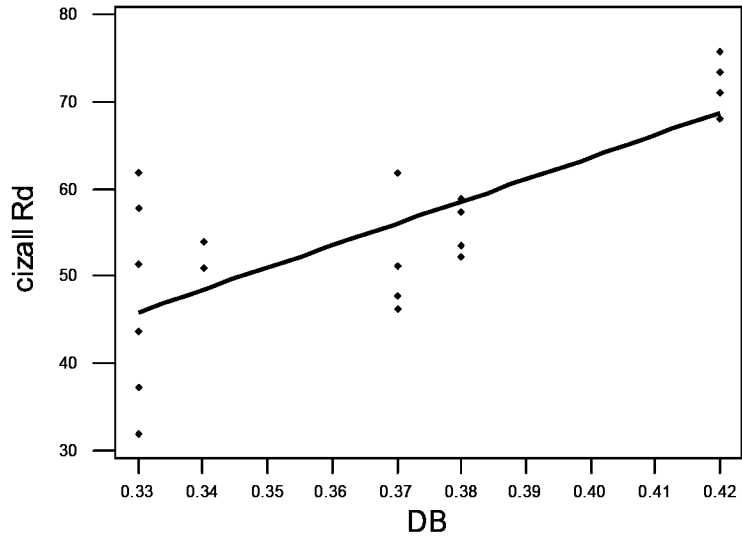


Figura 36: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Cizallamiento (radial)

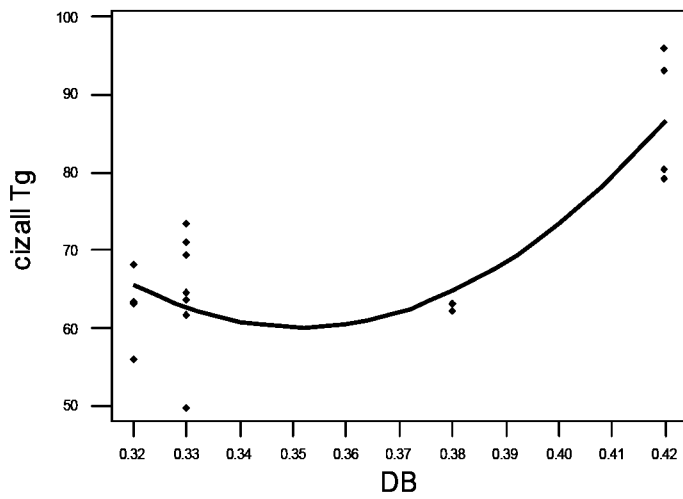


Figura 37: Ecuación de Regresión Densidad Básica vs. Cizallamiento (tangencial)

#### 4.5.- Determinación de los usos probables

En base a los resultados obtenidos de las características físicas y mecánicas, se procedió a comparar *A. angustifolia* con otras especies de similar densidad y resistencia mecánica y uso conocido.

A partir de esta comparación y según los requerimientos que debe cumplir para ciertos usos (explicados en el Anexo 10) se determinaron los siguientes usos expuestos en el cuadro 18 para *Araucaria angustifolia* proveniente de plantaciones de 15 años en Oxapampa.

## 5.- CONCLUSIONES

- A partir de la densidad básica, contracciones totales y resistencia mecánica se puede ubicar a *A. angustifolia* de 15 años en el grupo de propiedades físicas y mecánicas de baja densidad.
- La densidad básica y anhidra así como las contracciones radiales son mayores en la parte basal del árbol y van decreciendo significativamente con la altura, mientras que las otras contracciones totales siguen la misma tendencia siendo la diferencia entre los niveles no significativa.
- El esfuerzo en compresión perpendicular, módulo de elasticidad de flexión estática, dureza, tenacidad, tensión perpendicular tangencial y extracción de clavos son mayores en la parte basal del árbol y van decreciendo significativamente con la altura, mientras que el esfuerzo al límite proporcional y el módulo de ruptura en flexión estática y cizallamiento siguen la misma tendencia siendo la diferencia entre los niveles no significativa.
- La resistencia al cizallamiento, tanto radial como tangencial, compresión perpendicular, flexión estática (ELP y MOR) y dureza (lados y extremos), tienen un nivel de correlación significativo con la densidad básica, de tal forma que a partir de esta última se puede predecir los esfuerzos mencionados.

- Los coeficientes de variabilidad generalmente menores a los descritos por Wood Handbook, permiten considerarla como una madera homogénea.
  
- Las características tecnológicas de *Araucaria angustifolia* del presente estudio permiten proponer los siguientes usos: como madera no estructural en muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, así como para tejas debidamente preservadas, laminado, contrachapado y tableros de fibra y de partículas.

## **6.- RECOMENDACIONES**

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la misma plantación de manera periódica para determinar la edad de madurez de la especie.
- Realizar pruebas complementarias de trabajabilidad (como cepillado, moldurado, torneado y aserrío) para proporcionar condiciones apropiadas de transformación mecánica y corroborar las aptitudes de uso propuestas.
- Investigar y determinar los requisitos mínimos de los diferentes usos y nuevos productos de la madera.
- Realizar estudios de la parte anatómica de la madera para comprobar la presencia de madera de compresión.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

ALDEN, H. 1995. Softwoods of North America. U.S.D.A., Forest Service, FPL. 151p.

AMARAL, A.; FERREIRA, M.; BANDEL, G. 1971. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no sentido medula-casca em árvores do sexo masculino e femenino. Brasil, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) n.2/3, p.119-127

ARNTZEN, C. J. 1994. ed. Encyclopedia of Agricultural Science. Orlando, FL: Academic Press: 549-561. vol 4.

AROSTEGUI V., A.; SATO, A. 1970. Propiedades físico-mecánicas y usos de dos especies de Podocarpus (*P. rospigliosi*, *P. montanus*). Revista Forestal del Perú. 4(1-2):3-12.

AROSTEGUI V., A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Documento de trabajo N° 2. PNUD-FAO. Lima, Perú. 57p.

BACKES, A. 1973. Contribuição ao conhecimento da ecologia da mata de araucária. São Paulo: Universidade de São Paulo, Tese Concurso Doutorado. 235p.

BETANCOURT BARROSO, S. A. 2000. Árboles maderables exóticos en Cuba. Editorial científico técnica. La Habana, Cuba. 372p.

BOGDOL R., M.; FERREIRA, M. 1974. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (bert.) o. kuntze em função dos anéis de crescimento, IPEF n.9. p.47-55

CARVALHO, P.E.R. 1994. Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira. Brasília: EMBRAPA-CNPQ. 640p.

CASTIGLIONI, J.A. 1975. Descripción botánica, forestal y tecnológica de las principales especies indígenas de la Argentina. COZZO, D. Árboles forestales, maderas y silvicultura de la Argentina. Buenos Aires: Acme, p.38-60. (Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, 2).

CATIE. 1999. *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze. Nota técnica sobre manejo de semillas forestales. N°76. Costa Rica.

CHUDNOFF, M. 1984. Tropical timbers of the world. U.S.D.A., Forest Service, Ag. Handbook N°607.

DALLIMORE, W. y JACKSON, A. B. 1966. Handbook of Coniferae and Ginkgoaceae (4th edition). Edward Arnold (Publishers) Ltd. London.

DE HOOGH, R.J. 1981. Site nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in southern Brazil. Inaugural Doctoral Dissertation, Albert-Ludwigs Universität, Freiburg im Breisgau, 161p.

DE LAUBENFELS, D. J. 1972. Gymnospermes. In A. Aubreville and J. F. Leroy [eds.], Flore de la Nouvelle-Caledonie et Dependances. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.

DE LAUBENFELS, D. 1988. Araucariaceae. Flora Malesiana Series 10, 3: 419–442

DOHR, A. W. 1953. Mechanical properties of Brazilian *Araucaria* (Parana pine) compared to certain United States species. Unpublished report. U.S.D.A., Forest Service, FPL. 6p.

FACHIN, C. 1986. Estudio de las propiedades físico mecánicas y su variación en el tronco de la *Parkia velutina* R. Benth (Pashaco Curtidor), en los bosques de la plantación de Jenaro Herrera. Tesis para optar el título de Ing. Forestal. UNAP. Iquitos, Perú. 98p.

FERNÁNDEZ, R. A. 1994. *Araucaria*: elección del material genético, sitio y densidad inicial. En Actas II Jornadas Tecnológicas para el Desarrollo Misionero en el MERCOSUR.



FLACHSEMBERG, H. 1985. "Consideraciones Generales del Proyecto. Informaciones sobre organización, política, metas y avances del proyecto Peruano-Alemán". Documento de trabajo n°31. Proyecto Peruano-Alemán "Desarrollo Forestal y Agroforestal en Selva Central". San Ramón, Perú. 223 p.

FLORIN, R. 1963. The distribution of conifer and taxad genera in time and space. *Acta Horti Bergiana* 20: 122–312.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1999. Wood handbook: wood as an engineering material. GTR-113. U.S.D.A. Forest Service, FPL. 463p.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ (FUPEF). 2001. Conservação do bioma floresta com Araucária: relatório final. Diagnóstico dos remanescentes florestais/ PROBIO Araucária. 2 v. FUPEF, Curitiba, Brasil. 236p.

GERRY, E. 1954. Foreign Woods: *Araucaria klinkii*. Inform. *Leaflet* Report N°1987. U.S.D.A., Forest Service, FPL.

GILL, T. 1947. Parana Pine - A source of wood for reconstruction in Europe. FAO. *Unasyuva* - Vol. 1, No. 2. Washington, U.S.A.

GOLFARI, L. 1963. Exigencias climáticas de las coníferas tropicales y subtropicales. *Unasyuva* N°17 (1).

GOLFARI, L. 1971. Coníferas aptas para reflorestamento nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: IBDF, 71p. (Brasil Florestal. Boletim Técnico, 1).

GURGEL, J.T.A. & GURGEL FILHO, O.A. 1965. Evidências de raças geográficas no pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Ciência e Cultura*, 17(1) 33-39.

HALE, J.D. 1951. The structure of wood. In: Canadian woods, their properties and uses. Ontario, Canada: Forest Products Laboratory Division: 57-104.

HUECK, K. 1961. Distribuição e habitat do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*). *Boletim Geográfico IBGE*, Rio de Janeiro, v.19, N°165, p:710-723

JANE, F. W. 1956. The structure of the timbers of the world, 33, Parana Pine and New Zealand Kauri. *Timber Technol.* 64 (2203)

JANKOWSKY, I.P.; CHIMELO, J.P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I.C.M.; NAGAMURA, J.C.S. 1990. *Madeiras brasileiras*. Caxias do Sul: Spectrum, 172p.

JONES, W. G., K. D. HILL, AND J. M. ALLEN. 1995. *Wollemia nobilis*, a new living Australian genus and species in the Araucariaceae. *Telopea* 6:173–176.

JOZSA, L. A.; MIDDLETON, G. R. 1997. Les caracteristiques déterminant la qualité du bois : Nature et conséquences pratiques. Forintek Canada Corp. Publication spéciale SP-34F. 42p.

JUNAC. 1981. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. PADT-REFORT. Lima, Perú. 53p.

KERSHAW, P.; WAGSTAFF, B. 2001. The Southern conifer family Araucariaceae: history, status and value for paleoenvironmental reconstruction. Annual Review of Ecology and Systematic. 32: 397-414.

KUKACHKA, D. F. 1969. Properties of imported tropical woods. U.S.D.A. Forest Service, FPL. 67p.

LAHARRAGUE, P. 2003. *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Tropical tree seed manual. U.S.D.A., Forest Service. P:305-307.

LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos, Eschborn, Alemania, GTZ, 250p.

LARSON, PHILIP R.; KRETSCHMANN, DAVID E.; CLARK, ALEXANDER III; ISEBRANDS, J.G. 2001. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. GTR-129. U.S.D.A. Forest Service, FPL. 42p.

MAACK, R. 1968. Geografía física do estado do Paraná. Curitiba: M. Roesner, 350p.

MABBERLEY, D. J. 1987. Plant-Book—a portable dictionary of the higher plants. Cambridge University Press, Cambridge

MAINIERI, C. ; CHIMELO, J.P. 1989. Fichas de características das madeiras brasileiras. 2.ed. São Paulo: IPT, 418p.

MELCHIOR, G.H. 1983. “Suministro de Material Reproductivo Forestal en la Selva Central del Perú”. San Ramón, Perú. 199p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. “Maderas. Selección y Colección de Muestras”. Norma Técnica Peruana 251.008 . Lima, Perú. 11p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. “Maderas. Método de Determinación de Contenido de Humedad”. Norma Técnica Peruana 251.010 . Lima, Perú. 7p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. “Maderas. Método de Determinación de Densidad”. Norma Técnica Peruana 251.011 . Lima, Perú. 7p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. “Maderas. Método de Determinación de Contracción”. Norma Técnica Peruana 251.012 . Lima, Perú. 6p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Determinación de Cizallamiento Paralelo al Grano". Norma Técnica Peruana 251.013 . Lima, Perú. 6p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Determinación de la Compresión Axial o Paralela al Grano". Norma Técnica Peruana 251.014 . Lima, Perú. 3p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Determinación de la Dureza". Norma Técnica Peruana 251.015 . Lima, Perú. 4p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Determinación de la Compresión Perpendicular al Grano". Norma Técnica Peruana 251.016 . Lima, Perú. 5p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Ensayo de Flexión Estática". Norma Técnica Peruana 251.017 . Lima, Perú. 8p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Determinación de Tenacidad". Norma Técnica Peruana 251.018 . Lima, Perú. 5p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Método de Extracción de Clavos". Norma Técnica Peruana 251.036 . Lima, Perú. 6p.

NORMAS TECNICAS PERUANAS (NTP). 1980. "Maderas. Determinación de la Tensión Perpendicular a las Fibras". Norma Técnica Peruana 251.086 . Lima, Perú. 3p.

NTIMA, O.O. 1971. Especies maderables de crecimiento rápido en la tierra baja tropical: *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Merida, Venezuela. IFLAIC, 35:3-37.

PASHIN A.; De ZEEUW, C. 1980. Textbook of wood technology. 4<sup>th</sup> Ed. Mc Graw-Hill. New York, USA. p:201-233.

PILLOW, M. Y. 1951. Some characteristics of brazilian Paraná Pine affecting its use in millwork. Unpublished report. U.S.D.A., Forest Service, FPL. 12p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. 1966. Araucariaceae. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 29p.

RIJSDIJK, J. F.; LAMING, P. B. 1994. Physical and related properties of 145 timbers. The Netherlands. 392p.

ROGERS, L. J. 1953. Report to the government of Brazil on the silvicultural problems of *Araucaria angustifolia* FAO/ETAP N°206 Rome. Also in Unasyuva 8 (1), 1954.

RYS, L. 1949. Tropical woods for cellulose industry. Proc. 4<sup>th</sup> meeting FAO Tech. Committ. on wood chemistry. Brussels.

SETOGUCHI H, OSAWA TA, PINTAUD JC, et al. 1998. Phylogenetic relationships within Araucariaceae based on *rbcL* gene sequences. American Journal of Botany.85:1507-1516

VEILLON, J.-M. 1978. Architecture of the New Caledonian species of *Araucaria*. In P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann [eds.], Tropical trees as living systems, 233–245, Cambridge University Press, Cambridge.

VEILLON, J.-M. 1980. Architecture des especes neo-caledoniennes du genre *Araucaria*. Candollea 35: 609–640

ZHANG, S. Y.; GINGRAS, J. F. 1998. Aménagement forestier pour la qualité du bois et la plus grande valeur du produit fini. Le Progrès Forestier, Automne. P: 49-54.

ANEXOS



**ANEXO 1: Usos de 5 especies según literatura**

*Pinus ponderosa* (Alden, 1995):

Pilotes, postes, puntales para minas, laminado y durmientes. Carpintería, marcos de ventana, puertas, estanterías, molduras, marcos para puertas, persianas, enchapes, carrocerías, muebles interiores. Cajonería (cajas, jabas). Revestimiento interior, pisos y cielorrasos. La madera con nudos es usada para el acabado de interiores. Gran parte de los residuos se utiliza en los tableros de partículas y pulpa para papel.

*Abies concolor* (Alden, 1995):

Construcción maciza (marcos, revestimiento interior y exterior, pisos, enchapes, tablones, vigas, postes y paneles), madera contrachapada, pulpa, carpintería, viviendas prefabricadas, cajonería, jabas, duelas de barril, almas de muebles.

*Simarouba amara* (Chudnoff, 1984):

Obras interiores, cajonería y jabas, almas de muebles, laminados y contrachapados, molduras, carpintería, tableros de fibras y de partículas.

*Hura crepitans* (Chudnoff, 1984):

Carpintería en general, cajonería y jabas, laminados y contrachapados, machihembrados, muebles, tableros de fibras y de partículas.

*Podocarpus spp.* (Chudnoff, 1984):

Machihembrado, carpintería, cajonería y jabas, almas de muebles, construcción general, laminados y contrachapados, pulpa para papel y molduras.

**ANEXO 2: Identificación de la especie**

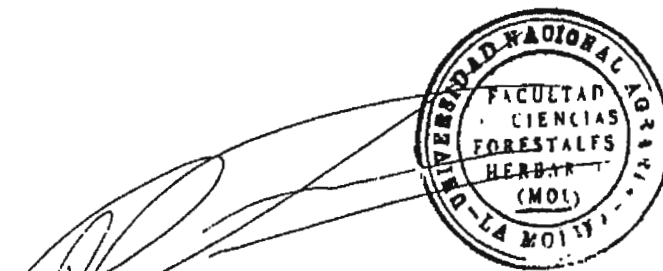


## CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud del Sr. Franscois Paul Jost Vargas se proporciona la identidad del espécimen indicado, el cual se halla depositado en el Herbario MOL, con la sigla consignada.

Zona de colección : Oxapampa (sector San Alberto)  
Fecha : 11, Junio 2004  
Nombre comun : "araucaria"

NOMBRE CIENTÍFICO : *Araucaria angustifolia* Kuntze  
FAMILIA : Araucariaceae



Determinador :

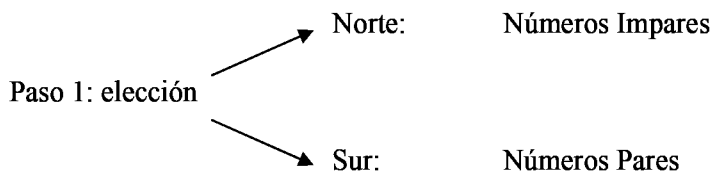
**Carlos Reynel Rodríguez Ph. D.**  
Profesor Principal Dpto. Manejo Forestal  
Director del Herbario Forestal UNALM (MOL)

La Molina, 11 de noviembre de 2004

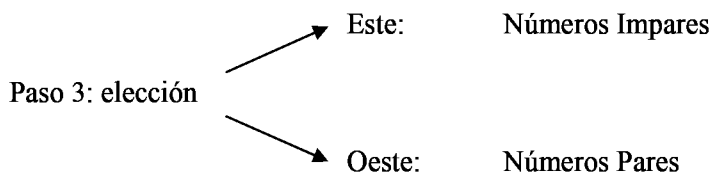
**\* ROGAMOS A LOS USUARIOS DE LOS SERVICIOS DEL HERBARIO FORESTAL (MOL) TENER ESPECIAL CUIDADO EN TRANSCRIBIR CORRECTAMENTE LOS NOMBRES PROPORCIONADOS**

**ANEXO 3: Procedimiento utilizado para el muestreo aleatorio**

Una vez situados en el pie del árbol ubicado en el centro de la plantación y con ayuda de una cartilla de números aleatorios que van del 0 al 9 se siguiendo los siguientes pasos:

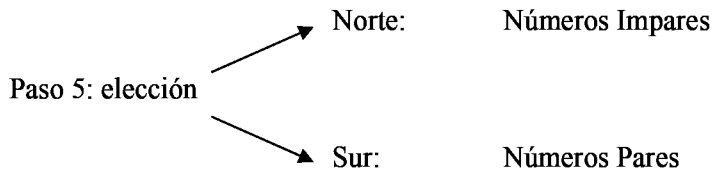


Paso 2: según el resultado obtenido anteriormente se vuelve a tomar un número al azar y este último corresponde al número de árboles que se debe de avanzar en dicha dirección.

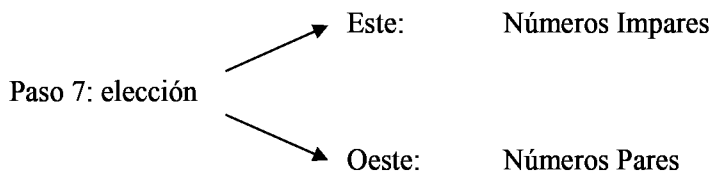


Paso 4: según el resultado obtenido anteriormente se vuelve a tomar un número al azar y este último corresponde al número de árboles que se debe de avanzar en dicha dirección.

Debido al tamaño de la plantación este proceso se realizó dos veces en cada ocasión para que todos los individuos de la plantación tengan las mismas probabilidades de ser seleccionados.



Paso 6: según el resultado obtenido anteriormente se vuelve a tomar un número al azar y este último corresponde al número de árboles que se debe de avanzar en dicha dirección.



Paso 8: según el resultado obtenido anteriormente se vuelve a tomar un número al azar y este último corresponde al número de árboles que se debe de avanzar en dicha dirección.

En este punto se tomó la información del árbol y se marcó para su posterior apeo.

De la misma manera se realizó la selección de los otros 4 individuos a partir del centro de la plantación.

**ANEXO 4: Propiedades Físicas detalladas**



**Valores promedio de la densidad anhidra y básica, contracciones totales y relación T/R a nivel de troza y árbol**

Arbol	Troza	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		Contracción (%)				Relación T/R
		Anhidra	Básica	Tangencial	Radial	Longitudinal	Volumétrica	
1	3	0.37	0.34	6.22	3.04	0.24	7.69	2.06
	4	0.37	0.33	6.74	3.49	0.12	9.57	1.93
	5	0.37	0.34	6.34	3.55	0.11	9.27	1.82
	<b>Promedio 1</b>	0.37	0.34	6.46	3.31	0.17	8.74	1.95
2	1	0.46	0.42	6.16	4.26	0.27	9.37	1.50
	2	0.41	0.37	5.99	3.68	0.15	8.89	1.63
	4	0.35	0.32	5.24	3.26	0.29	8.69	1.62
	<b>Promedio 2</b>	0.43	0.39	5.96	3.95	0.24	9.14	1.51
3	1	0.47	0.42	7.11	4.25	0.11	10.67	1.69
	2	0.42	0.38	6.70	3.40	0.12	9.52	2.00
	<b>Promedio 3</b>	0.44	0.40	6.86	3.74	0.12	9.98	1.84
4	2	0.45	0.42	5.30	3.14	0.33	8.15	1.72
	3	0.42	0.38	6.50	4.00	0.11	10.03	1.65
	<b>Promedio 4</b>	0.43	0.39	6.18	3.77	0.17	9.53	1.64
5	2	0.37	0.33	6.56	3.79	0.04	10.33	1.75
	4	0.39	0.36	4.14	2.55	0.52	6.82	1.73
	5	0.36	0.33	5.70	3.29	0.13	9.10	1.95
	<b>Promedio 5</b>	0.37	0.34	5.78	3.34	0.19	8.99	1.73
<b>Promedio Total</b>		0.41	0.37	6.21	3.62	0.18	9.26	1.72

**ANEXO 5: Propiedades Físicas y Mecánicas de *A. angustifolia* de 15 años con otras  
maduras y con otras especies de densidad básica similar**

**Comparación de las propiedades Físicas y Mecánicas con otras especies de densidad básica similar**

Especie	Dens. Básica	C. Tang (%)	C. Radial (%)	C. Vol (%)	Relación T/R	Fuente
A. angustifolia	-	7.8	4	13.2	2	Mainieri et al., 1989
A. angustifolia	0.46	7.3	3.8	11.6	1.9	Wood Handbook, 1999
A. angustifolia 15a	0.37	6.21	3.62	9.26	1.72	Elaboración propia
Podocarpus sp.	0.53	6.1	3.2	9.1	1.9	JUNAC, 1981
Podocarpus sp.	0.53	7.8	3.8	-	2.1	Aróstegui et al., 1970
Hura crepitans	0.38	4.5	2.7	7.3	1.7	Wood Handbook, 1999
Hura crepitans	0.41	5.8	3.4	9	1.7	Aróstegui, 1982
Simarouba amara	0.36	6.7	2.9	9.4	2.4	JUNAC, 1981
Simarouba amara	0.36	7	2.9	8.6	2.4	Aróstegui, 1982
Abies concolor	0.37	7	3.3	9.8	2.2	Wood Handbook, 1999
Pinus ponderosa	0.38	6.2	3.9	9.7	1.6	Wood Handbook, 1999

Especie	Flexión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión paralela (Kg/cm <sup>2</sup> )			Comp perp Kg/cm <sup>2</sup>	Dureza (Kg/cm <sup>2</sup> )		Cizalle Kg/cm <sup>2</sup>	Clivaje Kg/cm <sup>2</sup>	Tens perp Kg/cm <sup>2</sup>	Tenacidad (Kg-m)	Fuente
	ELP	MOR	MOE x1000	ELP	RM	MOE x1000	ELP	Lados	Ext.					
A. angustifolia	256	609	109	210	268	138	-	-	274	68	4.5	35	-	Mainieri et al., 1989
A. angustifolia	-	496	93	-	276	-	-	255	-	67	-	-	-	Wood Handbook, 1999
A. angustifolia 15a	271	403	79	132	149	82	23	242	265	61	32	26	1.02	Elaboración propia
Podocarpus sp.	366	608	99	251	302	-	57	425	365	86	-	-	2.8	JUNAC, 1981
Podocarpus sp.	331	681	107	157	327	114	67	476	520	82	44	39	2.34	Aróstegui et al., 1970
Hura crepitans	-	434	72	-	192	-	-	204	-	57	-	-	-	Wood Handbook, 1999
Hura crepitans	230	401	68	126	184	-	28	236	-	51	-	-	2	Aróstegui, 1982
Simarouba amara	-	427	77	-	201	-	33	204	227	58	-	-	1.61	JUNAC, 1981
Simarouba amara	258	427	76	159	201	-	33	204	-	57	-	-	1.6	Aróstegui, 1982
Abies concolor	-	410	80	-	200	-	19	153	-	52	-	21	-	Wood Handbook, 1999
Pinus ponderosa	-	350	69	-	169	-	19	143	-	48	-	21	-	Wood Handbook, 1999

## **ANEXO 6: Propiedades Mecánicas detalladas**

## FLEXION ESTATICA

Árbol	Troza	Probeta	C.H. (%)	Flexión estática		
				ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Tn/cm <sup>2</sup> )
1	4	14a	131,58	245,53	330,81	62,04
		14b	37,50	294,97	384,87	76,32
	5	15a	173,44	249,78	341,00	60,71
		15b	132,81	297,07	439,02	78,54
<b>promedio 1</b>			<b>118,83</b>	<b>271,84</b>	<b>373,92</b>	<b>69,40</b>
2	1	21a	101,11	297,63	452,12	73,42
		21b	102,11	293,59	465,34	69,77
	4	24a	136,36	241,03	352,72	71,42
		24b	195,39	184,75	311,94	61,82
<b>promedio 2</b>			<b>133,74</b>	<b>254,25</b>	<b>395,53</b>	<b>69,11</b>
3	2	32a	126,92	248,57	372,12	80,90
		32b	42,17	332,14	454,74	108,04
	3	33a	114,87	240,30	357,94	70,60
		33b	145,78	280,87	408,54	91,56
<b>promedio 3</b>			<b>107,44</b>	<b>275,47</b>	<b>398,33</b>	<b>87,78</b>
4	2	42a	39,77	291,13	441,87	85,90
		42b	43,53	308,59	442,54	89,09
	3	43a	28,05	324,52	455,62	91,08
		43b	29,41	278,91	438,18	97,92
<b>promedio 4</b>			<b>35,19</b>	<b>300,79</b>	<b>444,55</b>	<b>91,00</b>
5	2	52a	60,00	243,44	401,61	91,89
		52b	140,74	263,07	408,57	95,54
	5	55a	110,00	230,06	375,28	62,17
		55b	80,25	274,38	421,68	60,23
<b>promedio 5</b>			<b>97,75</b>	<b>252,74</b>	<b>401,78</b>	<b>77,46</b>

## COMPRESION PARALELA

Árbol	Troza	Probeta	C.H. (%)	Compresión paralela		
				ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Tn/cm <sup>2</sup> )
1	4	14a	45,89	153,48	160,21	93,44
		14b	48,74	150,86	164,92	78,84
	5	15a	30,79	167,36	179,69	84,11
		15b	123,75	132,41	159,95	71,74
<b>Promedio 1</b>			<b>62,29</b>	<b>151,03</b>	<b>166,19</b>	<b>82,03</b>
2	1	21a	84,43	181,81	195,31	87,86
		21b	61,77	152,98	154,75	86,87
	2	22a	117,16	146,12	151,06	88,96
	4	24a	93,74	119,31	134,45	86,99
<b>Promedio 2</b>			<b>89,28</b>	<b>150,05</b>	<b>158,89</b>	<b>87,67</b>
3	1	31a	74,86	124,53	152,10	60,28
	2	32a	126,68	115,18	129,36	100,03
	3	33a	139,67	96,99	127,84	69,34
		33b	111,42	97,46	137,33	89,93
<b>Promedio 3</b>			<b>113,16</b>	<b>108,54</b>	<b>136,66</b>	<b>79,90</b>
4	2	42a	102,76	137,74	161,73	77,76
	3	43a	173,83	102,15	115,07	59,73
	4	44a	52,05	97,15	124,78	-
		44b	89,33	70,23	93,58	59,25
<b>Promedio 4</b>			<b>104,49</b>	<b>101,82</b>	<b>123,79</b>	<b>65,58</b>
5	2	52a	176,56	119,43	139,04	73,47
	4	54a	59,89	140,40	155,51	95,86
		54b	34,91	159,80	167,79	98,30
	5	55a	55,84	167,06	173,28	88,09
<b>Promedio 5</b>			<b>81,80</b>	<b>146,67</b>	<b>158,90</b>	<b>88,93</b>

## COMPRESION PERPENDICULAR

Árbol	Troza	Probeta	C.H. (%)	ELP (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3	13a	96,27	22,22
		13b	117,87	17,76
	4	14a	171,17	22,06
	5	15a	43,56	22,17
<b>Promedio 1</b>			<b>107,22</b>	<b>21,05</b>
2	1	21a	86,39	26,05
		21b	70,18	33,06
	2	22a	172,50	27,84
	4	24a	170,88	21,35
<b>Promedio 2</b>			<b>124,99</b>	<b>27,07</b>
3	1	31a	113,00	29,41
	2	32a	122,76	23,15
		32b	153,37	24,60
	3	33a	162,21	20,31
<b>Promedio 3</b>			<b>137,83</b>	<b>24,37</b>
4	2	42a	103,44	25,95
		42b	142,31	22,87
	3	43a	117,16	21,29
	4	44a	109,43	20,32
<b>Promedio 4</b>			<b>118,08</b>	<b>22,61</b>
5	2	52a	52,15	17,54
		52b	71,79	18,84
	4	54a	28,74	18,70
		54b	141,70	17,58
<b>Promedio 5</b>			<b>73,59</b>	<b>18,16</b>

## EXTRACCION DE CLAVOS

Arbol	Troza	Probeta	C.H. (%)	CARGAS DE EXTRACCION (Kg)					
				RADIAL		TANGENCIAL		EXTREMOS	
1	3	13a	63,77	106,03	76,36	103,50	89,70	48,76	62,33
		13b	94,40	98,90	94,53	94,53	103,73	60,03	77,05
		13c	127,78	99,36	107,18	77,97	89,70	60,95	57,73
	5	15a	41,45	99,59	127,42	115,23	112,93	71,07	113,39
<b>Promedio 1</b>			<b>81,85</b>	<b>101,17</b>		<b>98,41</b>		<b>68,91</b>	
2	1	21a	128,09	138,46	102,58	129,03	127,19	80,27	80,04
		21b	95,93	129,49	80,27	74,52	98,90	57,04	78,89
	2	22a	98,11	83,26	85,79	64,86	74,06	74,75	67,62
	4	24a	140,26	80,73	89,70	91,08	97,75	43,24	31,97
<b>Promedio 2</b>			<b>115,59</b>	<b>98,79</b>		<b>94,67</b>		<b>64,23</b>	
3	1	31a	32,58	109,25	95,22	95,68	133,17	89,47	85,33
	3	33a	127,03	103,73	99,59	97,29	91,54	49,22	53,82
		33b	130,15	97,52	120,75	74,06	79,58	59,57	58,42
		33c	146,54	84,64	76,82	115,46	100,05	62,79	58,65
<b>Promedio 3</b>			<b>109,07</b>	<b>98,44</b>		<b>98,35</b>		<b>64,66</b>	
4	3	43a	134,97	69,23	83,49	81,88	94,53	67,85	60,95
	4	44a	57,50	77,97	92,23	92,92	104,65	69,92	65,32
		44b	56,04	63,94	125,12	86,02	111,78	58,88	52,90
		44c	110,68	96,60	69,69	86,25	72,22	69,92	62,56
<b>Promedio 4</b>			<b>89,80</b>	<b>84,78</b>		<b>91,28</b>		<b>63,54</b>	
5	2	52a	119,94	86,48	51,75	63,94	85,79	69,23	66,01
	4	54a	74,21	64,40	58,65	91,08	79,35	47,38	55,20
		54b	27,62	77,74	94,99	77,97	77,97	53,13	64,17
	5	55a	50,73	56,12	79,12	98,90	118,22	58,19	65,32
<b>Promedio 5</b>			<b>68,12</b>	<b>71,16</b>		<b>86,65</b>		<b>59,83</b>	



## DUREZA

Arbol	Troza	Probeta	C.H. (%)	Extremos (kg/cm2)		Radial (kg/cm2)		Tangencial (kg/cm2)	
1	3	13a	25,23	284,28	239,20	207,00	238,28	207,00	191,36
	4	14a	27,62	244,72	205,16	193,20	173,88	276,00	170,20
		14b	31,65	215,28	239,20	199,64	207,92	195,04	133,40
	5	15a	25,00	227,24	234,60	166,52	179,40	156,40	224,48
<b>Promedio 1</b>			<b>27,38</b>	<b>236,21</b>		<b>195,73</b>		<b>194,24</b>	
2	1	21a	24,83	322,92	303,60	296,24	307,28	329,36	477,94
		21b	24,87	343,16	408,48	414,00	425,04	405,72	387,32
	2	22a	34,43	249,32	256,68	207,00	215,28	174,80	193,20
	4	24a	24,78	242,88	255,76	192,28	195,04	119,60	266,34
<b>Promedio 2</b>			<b>27,23</b>	<b>297,85</b>		<b>281,52</b>		<b>294,29</b>	
3	1	31a	23,08	429,64	375,36	335,80	448,04	218,04	413,08
	2	32a	24,10	305,44	293,48	256,68	289,80	225,40	226,32
		32b	24,16	253,92	260,36	253,00	242,88	264,04	145,36
	3	33a	26,92	228,16	258,52	247,48	220,80	166,52	221,72
<b>Promedio 3</b>			<b>24,57</b>	<b>300,61</b>		<b>286,81</b>		<b>235,06</b>	
4	2	42a	25,95	306,36	345,00	248,40	268,64	194,12	336,72
		42b	27,13	245,64	276,92	280,60	334,88	196,88	264,96
	3	43a	29,63	210,68	225,40	228,16	192,28	241,04	162,84
	4	44a	30,94	243,80	225,40	229,08	167,44	174,80	222,64
<b>Promedio 4</b>			<b>28,41</b>	<b>259,90</b>		<b>243,69</b>		<b>224,25</b>	
5	4	54a	35,33	219,88	204,24	192,28	228,16	242,88	196,88
		54b	32,35	196,88	231,84	192,28	180,32	261,28	258,52
	5	55a	24,85	254,84	263,12	202,40	295,32	270,48	164,68
		55b	24,02	244,72	223,56	280,60	202,40	277,84	237,36
<b>Promedio 5</b>			<b>29,14</b>	<b>229,89</b>		<b>221,72</b>		<b>238,74</b>	

## CLIVAJE

Arbol	Troza	Probeta		C.H. (%)	Clivaje (Kg/cm)	
		Rad	Tang		Radial	Tangencial
1	3	13a		224,18	25,72	
		13b		227,38	28,00	
			13c	107,36		41,51
			13d	113,47		28,86
	4	14a		171,99	28,35	
		14b		199,60	25,93	
	5		15a	194,29		37,99
			15b	124,00		33,68
<b>Promedio 1</b>				<b>170,28</b>	<b>27,00</b>	<b>35,51</b>
2	1	21a		154,87	34,85	
		21b		158,93	33,31	
	2	22b		174,56	24,62	
		22d		170,37	18,31	
			22a	166,80		34,85
			22c	211,97		36,69
	4		24a	193,99		32,68
			24b	99,30		37,16
<b>Promedio 2</b>				<b>166,35</b>	<b>27,77</b>	<b>35,35</b>
3	1	31a		108,67	23,50	
		31b		97,36	27,21	
	2	32c		143,60	27,23	
		32d		102,54	26,90	
			32a	115,09		41,89
			32b	107,02		43,25
	3		33a	196,10		39,45
			33b	192,02		40,51
<b>Promedio 3</b>				<b>132,80</b>	<b>26,21</b>	<b>41,28</b>
4	2		42a	169,08		47,89
			42b	178,73		41,67
	3	43a		136,47	23,56	
		43b		137,04	23,99	
		43d		123,73	26,67	
		43c		144,44	28,29	
	4		44a	82,75		41,05
			44b	99,08		49,03
<b>Promedio 4</b>				<b>133,91</b>	<b>25,63</b>	<b>44,91</b>
5	2	52a		166,23	22,48	
		52b		153,70	21,94	
	4	54a		210,65	23,27	
		54b		202,85	22,60	
	5		55a	209,45		37,48
			55b	230,82		40,71
			55c	194,42		36,11
			55d	147,57		38,93
<b>Promedio 5</b>				<b>189,46</b>	<b>22,57</b>	<b>38,31</b>

## TENSION PERPENDICULAR

Arbol	Troza	Probeta		C.H. (%)	ET (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Rad	Tang		Radial	Tangencial
1	3	13a		168,70	24,01	
		13b		191,76	21,77	
	4		14a	242,61		32,35
			14b	216,15		33,36
	5		15b	109,05		31,22
			15c	126,29		32,45
		15a		191,26	22,75	
	15d		154,65	21,80		
<b>Promedio 1</b>				<b>175,06</b>	<b>22,58</b>	<b>32,34</b>
2	2	22a		14,36	21,40	
		22b		171,97	17,75	
		22c		181,18	15,18	
		22d		167,30	19,78	
	4		24a	161,40		29,84
			24b	161,97		29,23
			24c	196,75		29,99
		24d	200,00		29,69	
<b>Promedio 2</b>				<b>172,87</b>	<b>18,53</b>	<b>29,69</b>
3	1		31a	158,38		39,63
			31b	156,22		41,06
	2	32a		90,09	19,14	
		32b		117,62	19,43	
	3	33c		148,82	17,81	
		33d		150,00	17,01	
			33a	150,00		34,58
		33b	134,82		28,66	
<b>Promedio 3</b>				<b>138,24</b>	<b>18,35</b>	<b>35,98</b>
4	2		42b	151,01		37,18
			42d	180,39		40,66
		42a		153,74	18,27	
	3	42c		146,15	20,88	
		43a		138,04	18,12	
	4	43b		150,25	21,02	
			44a	175,39		31,91
		44b	179,62		32,86	
<b>Promedio 4</b>				<b>159,32</b>	<b>19,57</b>	<b>35,65</b>
5	2		52a	161,17		31,49
			52b	201,16		30,77
	4	54a		186,41	17,09	
		54b		160,80	16,54	
	5	55a		183,02	18,17	
		55d		174,62	16,16	
			55b	83,67		36,03
		55c	110,92		34,41	
<b>Promedio 5</b>				<b>157,72</b>	<b>16,99</b>	<b>33,18</b>

## CIZALLAMIENTO

Arbol	Troza	Probeta		C.H. (%)	Cizallamiento (kg/cm <sup>2</sup> )		
		Rad	Tang		Radial	Tangencial	
1	4	14a		168,61	57,80		
		14b		161,78	61,86		
			14a	170,18		71,07	
			14b	173,55		63,74	
			14c	185,38		73,49	
			14d	164,80		69,50	
	5	15a		172,09	54,03		
		15b		181,20	50,87		
<b>Promedio 1</b>				<b>172,20</b>	<b>56,14</b>	<b>69,45</b>	
2	1	21a		114,83	75,97		
		21b		118,82	73,52		
		2	22a		180,42	46,08	
			22b		176,74	51,18	
	4		24a	169,64		56,03	
			24b	167,57		68,12	
			24c	162,22		63,30	
			24d	140,11		63,36	
	<b>Promedio 2</b>				<b>153,80</b>	<b>61,69</b>	<b>62,70</b>
	3	1		31a	89,18		93,06
			31b	103,04		95,92	
			31c	56,67		79,10	
			31d	44,44		80,43	
2		31a		49,01	71,09		
		31b		94,74	68,07		
		32a		133,52	57,40		
		32b		112,26	52,16		
<b>Promedio 3</b>				<b>85,36</b>	<b>62,18</b>	<b>87,13</b>	
4	3		43a	100,00		48,46	
			43b	89,02		63,12	
			43c	130,64		62,34	
			43d	136,36		63,10	
	4	43a		117,88	53,43		
		43b		144,87	58,82		
		44a		98,65	61,87		
		44b		138,52	47,74		
<b>Promedio 4</b>				<b>119,49</b>	<b>55,47</b>	<b>59,26</b>	
5	2	52a		154,27	51,26		
		52b		147,14	43,49		
			52a	146,47		64,59	
			52b	102,38		49,76	
			52c	103,72		45,14	
			52d	108,81		61,68	
	5	55a		103,64	37,11		
		55b		160,14	31,70		
<b>Promedio 5</b>				<b>128,32</b>	<b>40,89</b>	<b>55,29</b>	

## TENACIDAD

Arbol	Troza	Probeta		C.H. (%)	Tenacidad (Kg-m)	
		Rd	Tg		Radial	Tangencial
1	3		13a	169,10		1,06
		13b		191,97	0,71	
		13c		174,87	0,63	
	4		13d	156,22		0,80
			14a	146,77		1,33
		14b		180,75	0,69	
<b>promedio 1</b>				<b>169,95</b>	<b>0,68</b>	<b>1,06</b>
2	1		21a	124,81		1,99
		21b		158,91	1,53	
	2		22a	188,08		1,20
		22b		210,44	0,65	
	4	24a		206,52	0,21	
			24b	163,99		0,59
<b>promedio 2</b>				<b>175,46</b>	<b>0,79</b>	<b>1,26</b>
3	1		31a	90,36		2,19
			31b	121,14		2,06
		31d		102,67	2,19	
	2	32a		122,83	0,91	
			33a	181,04		0,86
	3	33b		138,19	0,48	
<b>promedio 3</b>				<b>126,04</b>	<b>1,19</b>	<b>1,70</b>
4	2	42a		144,24	0,77	
			42b	121,40		0,60
	3		43b	182,83		1,06
		44a		142,89	1,20	
	4	44c		166,51	0,52	
			44d	94,53		1,35
<b>promedio 4</b>				<b>142,06</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>
5	2	52b		116,34	0,86	
		54a		70,88	0,76	
	4		54b	105,61		0,70
			54c	58,21		0,65
		54d		74,41	1,13	
	5		55b	85,56		0,92
<b>promedio 5</b>				<b>85,17</b>	<b>0,91</b>	<b>0,76</b>

**ANEXO 7: Comparación entre los coeficientes de variabilidad de *A. angustifolia* de 15 años y los de Wood Handbook**

**Comparación entre los coeficientes de variabilidad obtenidos y los de Wood Handbook**

Propiedades	Coeficiente de Variabilidad (%)			
	Entre arboles	Dentro del árbol	Total	Wood Handbook
<b>1.-Densidades</b>				
D. Anhidra	7.6	10.6	10.7	-
D. Básica	7.5	10.0	10.3	10
<b>2.-Contracciones</b>				
C. Tangencial	15.1	16.7	16.0	14
C. Radial	20.3	22.2	20.9	15
C. Longitudinal	96.0	90.4	95.1	-
C. Volumetrica	16.1	17.4	16.2	16
<b>3.-Relación T/R</b>	18.9	22.1	20.4	-
<b>4.-Flexión estática</b>				
ELP	12.9	12.0	12.9	22
MOR	11.3	8.9	11.3	16
MOE	15.5	13.2	17.7	22
<b>5.-Compresión Paralela</b>				
ELP	16.2	22.6	21.7	24
RM	13.2	16.6	15.7	18
MOE	14.1	17.1	15.4	29
<b>6.-Compresión Perpend</b>				
ELP	13.9	12.1	17.9	28
<b>7.-Extracción de Clavos</b>				
Radial	20.1	19.5	20.2	-
Tangencial				
Extremos	30.7	15.1	21.5	
<b>8.-Dureza</b>				
Radial	24.7	19.8	30.4	17
Tangencial				
Extremos	18.3	15.4	20.2	20
<b>9.-Clivaje</b>				
Radial	14.5	15.9	14.4	-
Tangencial	8.7	12.7	12.0	
<b>10.-Tensión perpend</b>				
Radial	8.4	12.6	12.2	25
Tangencial	9.9	9.4	11.0	
<b>11.-Cizallamiento</b>				
Radial	17.1	18.7	20.3	14
Tangencial	10.7	16.9	19.2	
<b>12.-Tenacidad</b>	49.4	44.8	50.2	34

**ANEXO 8: Clasificación de las propiedades físico-mecánicas y rango de clasificación propuesto por Aróstegui**



**Clasificación de las propiedades físico-mecánicas a partir de los rangos propuestos por Aróstegui**

<b>Propiedades</b>	<b>Promedio</b>	<b>Clasificación</b>
<b>1.-Densidad Básica</b>	0,37	Baja
<b>2.-Contracción Volumétrica</b>	9,26	Baja
<b>3.-Flexion estatica (MOR)</b>	402	Baja
<b>4.-Compresión Paralela (RM)</b>	148	Baja
<b>5.-Compresion Perpendicular (ELP)</b>	22,6	Baja
<b>6.-Dureza de Lados</b>	241	Baja
<b>7.-Cizallamiento</b>	61	Media

### Rangos de Clasificación de las Maderas según sus Propiedades Físicas y Mecánicas

Grupo	Propiedades Físicas		Propiedades Mecánicas (kg/cm <sup>2</sup> )					Clasificación
	Densidad Básica	Contracción Volumétrica %	Flexión estática (MOR)	Compresión Paralela (RM)	Compresión Perpendicular (ELP)	Dureza Lados	Cizallamiento	
I	< 0,3	< 7	< 300	< 120	< 10	< 100	< 30	Muy Baja
II	0,3 - 0,4	7,0 - 10,0	300 - 500	120 - 240	10,0 - 40	100 - 300	30 - 60	Baja
III	0,41 - 0,6	10,1 - 13	501 - 800	241 - 360	41 - 70	301 - 600	61 - 90	Media
IV	0,61 - 0,75	13,1 - 15	801 - 1000	361 - 480	71 - 100	601 - 900	91 - 120	Alta
V	> 0,75	> 15	> 1000	> 480	> 100	> 900	> 120	Muy Alta

Fuente: Aróstegui, 1982

**ANEXO 9: Análisis de variancia para la regresión de las propiedades físicas y mecánicas**

**Análisis de variancia para la regresión de las propiedades físicas y mecánicas  
en función de la densidad básica**

Propiedades físicas	Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	caudrado medio	F calculado	Probabilidad (p)
<b>I.-Contracciones</b>						
C. Tangencial	Regresión	1	1.83	1.83	2.12	0.149
	Error	76	65.30	0.86		
	Total	77	67.12			
C. Radial	Regresión	1	3.71	3.71	9.07	0.004
	Error	75	30.62	0.41		
	Total	76	34.33			
C. Longitudinal	Regresión	1	0.01	0.01	0.57	0.454
	Error	75	1.44	0.02		
	Total	76	1.45			
C. Volumetrica	Regresión	1	1.27	1.27	0.74	0.391
	Error	75	127.89	1.71		
	Total	76	129.16			

Propiedades mecánicas	Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	cuadrado medio	F calculado	Probabilidad (p)
<b>2.-Flexion estatica</b>						
ELP	Regresión	1	12796	12796	19.77	0.000
	Error	18	11650	647		
	Total	19	24446			
MOR	Regresión	1	33805	33805	76.85	0.000
	Error	18	7918	440		
	Total	19	41723			
MOE	Regresión	1	676	676	3.77	0.068
	Error	18	3226	179		
	Total	19	3902			
<b>3.-Compresion Paralela</b>						
ELP	Regresión	1	43	43	0.05	0.829
	Error	18	16245	903		
	Total	19	16288			
RM	Regresión	1	51	51	0.08	0.775
	Error	18	10819	601		
	Total	19	10869			
MOE	Regresión	1	83	83	0.51	0.497
	Error	18	2916	162		
	Total	19	2998			
<b>4.-Compresion Perpend</b>						
ELP	Regresión	1	198.73	198.73	27.54	0.000
	Error	18	129.88	7.22		
	Total	19	328.61			
<b>5.-Extraccion de Clavos</b>						
Lados	Regresión	1	2049	2049	6.22	0.015
	Error	78	25700	329		
	Total	79	27749			
Extremos	Regresión	1	1307	1307	7.86	0.008
	Error	38	6320	166		
	Total	39	7627			
<b>6.-Dureza</b>						
Lados	Regresión	1	57327	57327	66.97	0.000
	Error	18	15408	856		
	Total	19	72735			
Extremos	Regresión	1	43549	43549	82.87	0.000
	Error	18	9459	526		
	Total	19	53008			
<b>7.-Clivaje</b>						
Radial	Regresión	2	127.58	127.58	14.66	0.005
	Error	17	147.94	8.70		
	Total	19	275.51			
Tangencial	Regresión	1	42.62	42.62	1.94	0.18
	Error	18	394.92	21.94		
	Total	19	437.54			
<b>8.-Tension perpendicular</b>						
Radial	Regresión	1	0.56	0.56	0.10	0.752
	Error	17	91.74	5.40		
	Total	18	92.30			
Tangencial	Regresión	1	74.34	74.34	7.27	0.015
	Error	17	173.92	10.23		
	Total	18	248.26			
<b>9.-Cizallamiento</b>						
Radial	Regresión	1	1394.7	1394.7	22.34	0.000
	Error	18	1123.5	62.4		
	Total	19	2518.2			
Tangencial	Regresión	2	1629.3	1629.3	32.61	0.000
	Error	15	749.5	50.0		
	Total	17	2378.8			
<b>10.-Tenacidad</b>						
	Regresión	1	3.16	3.16	18.87	0.000
	Error	28	4.69	0.17		
	Total	29	7.85			

**ANEXO 10: Requisitos de Uso de la madera**

### 1.- Pisos

- Dura a muy dura (densidad básica más de 0,6).
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Poca tendencia a torcerse y agrietarse (relación T/R igual o menor de 1,6).
- Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- Buena apariencia.

### 2.- Tejas

- Resistencia al deterioro por la acción atmosférica.
- Baja absorción de humedad.
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- Durable.

### 3.- Carpintería de obra

- Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2)
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Buena apariencia.

- Textura media o fina.
- De acabado regular a bueno.

#### 4.- Maderas de construcción

- Densidad básica de 0,5 y 0,8 .
- Flexión: esfuerzo al limite proporcional igual o mayor a 400 Kg/cm<sup>2</sup>. Modulo de elasticidad igual o mayor a 100 000 Kg/cm<sup>2</sup>. Cuando la densidad es mayor de 0,8 el MOE debe ser igual o mayor a 180 000 Kg/cm<sup>2</sup>. Modulo de ruptura igual o mayor a 700 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Máxima resistencia a la compresión paralela igual o mayor a 350 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Compresión perpendicular a las fibras igual o mayor a 60 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Cizallamiento igual o mayor a 35 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Contracción moderadamente baja (relación T/R igual o menor a 2).
- Especies de grandes dimensiones (altura y diámetro).
- Resistencia al ataque de hongos e insectos o fácil de tratar.

#### 5.- Carpintería

- Buen comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería (cepillado, lijado, aserrío, etc.).
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2).



## 6.- Chapado y contrachapado

- Buena resistencia mecánica.
- Facilidad para el encolado.
- Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2)
- Proceder de árboles de diámetro adecuado con alta proporción de maderas limpias.
- Buen veteado (medio o pronunciado).
- Ausencia de sílice.

## 7.- Durmientes

- Gran resistencia a la compresión perpendicular, igual o mayor a 60 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Buena dureza (densidad básica de 0,6 a 0,8).
- Buena resistencia al Cizallamiento, igual o mayor a 35 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Buena resistencia a la tracción perpendicular a las fibras, igual o mayor a 30 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Buena resistencia a la tenacidad. Aptitud a soportar los efectos de los choques y de las vibraciones (igual o mayor a 2 Kg/cm<sup>2</sup>).
- Buena durabilidad (por lo menos aceptar el tratamiento).
- Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 3; madera moderadamente estable).
- El aserrado, así como sus cortes, y en el taladro no deben presentar dificultades y exige un equipo especial (no se recomienda maderas muy silíceas).

## 8.- Mangos de herramientas y artículos atléticos y deportivos

- Densidad básica entre 0,4 y 0,6
- La tenacidad debe ser igual o mayor a 2 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Grano recto.
- Buena dureza.
- Buena apariencia.
- Buen comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería.
- Cizallamiento igual o mayor a 40 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Clivaje igual o mayor a 30 Kg/cm<sup>2</sup>.

## 9.- Ebanistería

- Suficientemente dura y resistente (densidad básica de 0,4 a 0,6).
- Buen comportamiento al torno.
- Buen comportamiento a las propiedades de carpintería (cepillado, etc.).
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- relación T/R igual o menor a 2.
- Buena apariencia.
- Buen acabado.
- Buen comportamiento al encolado.

#### 10.- Instrumentos (Científicos y profesionales)

- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Buen comportamiento al secado (relación T/R menos de 1,6).
- Textura fina y uniforme.
- Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería (grano recto, moderadamente dura, sin inclusiones, etc.).
- Buen acabado.

#### 11.- Moldes

- Estabilidad de dimensiones (contracción volumétrica menor al 12% y relación T/R menos de 1,6).
- Textura fina y uniforme.
- Fácil de trabajar con máquinas de carpintería.

#### 12.- Carrocercías

- Alta resistencia a la flexión.
- Alta resistencia a la tenacidad (igual o mayor de 2,5 Kg.m)
- Buen comportamiento al secado (relación T/R menos de 2).
- Buen comportamiento a los clavos y tornillos.
- Densidad básica de 0,5 a 0,8.

### 13.- Costillas y maderamen

- Resistencia al deterioro por acción atmosférica.
- Resistente al ataque de hongos o insectos o aceptar buen tratamiento.
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Resistente a la flexión, compresión y cizallamiento.
- Baja absorción de humedad.

### 14.- Construcción pesada en general

- Alta resistencia mecánica en relación a su densidad básica.
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Buen comportamiento al secado (relación T/R menos de 2).
- Dimensiones adecuadas.

### 15.- Obras exteriores

- Resistente al deterioro por acción atmosférica.
- Baja a moderadamente baja contracción volumétrica (menor al 12%).
- Baja absorción de humedad.
- Alto grado de permeabilidad.
- Regular comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2).

- Alta resistencia al ataque de hongos e insectos, sobretodo las maderas que están en contacto con el suelo.
- Buen comportamiento al pintado.

#### 16.- Cajonería

- De suficiente resistencia mecánica (densidad básica de 0,3 a 0,6).
- Liviana o moderadamente pesada.
- Fácil aserrío.
- Exenta de olores y secreciones.
- Buen comportamiento a los clavos.

#### 17.- Obras de torneado y artesanía

- Moderadamente pesada y dura (densidad básica 0,4 a 0,8).
- Resistente al ataque de hongos e insectos o que tome un bien un tratamiento preservador.
- Buen acabado (textura media a fina).
- De apariencia atractiva (veteado pronunciado).
- Buen comportamiento al torneado.

## 18.- Encofrados

- Estabilidad dimensional (contracción volumétrica menor al 12%) y buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor de 1,6).
- Densidad básica de 0,4 a 0,6.
- Baja absorción de la humedad.
- Buena resistencia mecánica.

**CUADRO 4: Propiedades Físicas de *A. angustifolia* de otros autores y de otras especies (coníferas y latifoliadas) con densidad básica similar a la especie en estudio**

Especie	Densidad Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Contracción total (%)			Relación T/R	Fuente
		Tangencial	Radial	Volumétrica		
<i>Araucaria angustifolia</i>	-	7,8	4	13,2	2	Mainieri et al., 1989
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,46	7,3	3,8	11,6	1,9	Wood Handbook, 1999
<i>Podocarpus</i> sp.	0,53	6,1	3,2	9,1	1,9	JUNAC, 1981
<i>Podocarpus</i> sp.	0,53	7,8	3,8	-	2,1	Aróstegui et al., 1970
<i>Hura crepitans</i>	0,38	4,5	2,7	7,3	1,7	Wood Handbook, 1999
<i>Hura crepitans</i>	0,41	5,8	3,4	9	1,7	Aróstegui, 1982
<i>Simarouba amara</i>	0,36	6,7	2,9	9,4	2,4	JUNAC, 1981
<i>Simarouba amara</i>	0,36	7	2,9	8,6	2,4	Aróstegui, 1982
<i>Abies concolor</i>	0,37	7	3,3	9,8	2,2	Wood Handbook, 1999
<i>Pinus ponderosa</i>	0,38	6,2	3,9	9,7	1,6	Wood Handbook, 1999

**CUADRO 5: Propiedades Mecánicas de *A. angustifolia* de otros autores y de otras especies (coníferas y latifoliadas) con densidad básica similar a la especie en estudio**

Especie	Flexión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión paralela (Kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión perpendicular (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dureza (Kg/cm <sup>2</sup> )		Cizallamiento Kg/cm <sup>2</sup>	Olivaje Kg/cm	Tensión perpendicular Kg/cm <sup>2</sup>	Tenacidad Kg-m	Fuente
	ELP	MOR	MOE	ELP	RM	MOE	ELP	Lados	Extremos					
<i>Araucaria angustifolia</i>	256	609	109	210	268	138	-	-	274	68	4,5	35	-	Mainieri et al, 1989
<i>Araucaria angustifolia</i>	-	496	93	-	276	-	-	255	-	67	-	-	-	Wood Handb, 1999
<i>Podocarpus sp.</i>	366	608	99	251	302	-	57	425	365	86	-	-	2,8	JUNAC, 1981
<i>Podocarpus sp.</i>	331	681	107	157	327	114	67	476	520	82	44	39	2,34	Aróstegui et al, 1970
<i>Hura crepitans</i>	-	434	72	-	192	-	-	204	-	57	-	-	-	Wood Handb, 1999
<i>Hura crepitans</i>	230	401	68	126	184	-	28	236	-	51	-	-	2	Aróstegui, 1982
<i>Simarouba amara</i>	-	427	77	-	201	-	33	204	227	58	-	-	1,61	JUNAC, 1981
<i>Simarouba amara</i>	258	427	76	159	201	-	33	204	-	57	-	-	1,6	Aróstegui, 1982
<i>Abies concolor</i>	-	410	80	-	200	-	19	153	-	52	-	21	-	Wood Handb, 1999
<i>Pinus ponderosa</i>	-	350	69	-	169	-	19	143	-	48	-	21	-	Wood Handb, 1999



CUADRO 6: Usos de la *A. angustifolia* de otros autores y de otras especies con densidad básica similar a la especie en estudio

Especie	Pisos	Tejas	Carpintería de obra	Maderas de construcción	Carpintería	Durmientes	Mangos de herramientas y artículos deportivos	Ebanistería	Instrumentos (Científicos y profesionales)	Moldes	Carrocerías	Costillas y maderamen	Construcción pesada en general	Obras exteriores	Cajonería	Obras de torneado – artesanía	Encofrados	molduras	laminado	contrachapado	muebles	tableros de fibras y partículas
<i>Pinus ponderosa</i> *	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
<i>Abies concolor</i> *	X	X	X		X		X					X	X		X		X		X	X	X	
<i>Simarouba amara</i> **			X		X		X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Hura crepitans</i> **			X		X		X	X				X			X		X		X	X	X	X
<i>Podocarpus spp</i> **			X		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>A. angustifolia (adult)</i> ***	X	X	X		X		X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

\* Alden (1995)

\*\* Chudnoff (1984)

\*\*\* Betancourt (2000) y Ntima (1971)

**CUADRO 9: Clave de probetas por niveles de las propiedades mecánicas**

Propiedad	Clave de probeta por niveles		
	A	B	C
Flexión estática	21a	33a	14a
	21b	33b	14b
	32a	43a	24a
	32b	43b	24b
	42a	52a	55a
	42b	52b	55b
Compresión paralela	21a	14a	15a
	21b	14b	15b
	31a	22a	24a
	32a	33a	44b
	42a	33b	54a
	52a	43a	54b
Compresión perpend.	21a	13a	14a
	21b	13b	15a
	31a	33a	24a
	32a	43a	44a
	42a	52a	54a
	42b	52b	54b
Extracción de clavos	21a	13a	24a
	21b	13b	44a
	22a	13c	44b
	31a	33a	44c
	43a	33b	54a
	52a	33c	54b
Dureza	21a	13a	14a
	21b	32a	14b
	22a	32b	24a
	31a	43a	44a
	42a	54a	55a
	42b	54b	55b
Clivaje Radial	21a	13a	14a
	21b	13b	14b
	31a	22b	43d
	31b	22d	43c
	52a	32c	54a
	52b	32d	54b

Propiedad	Clave de probeta por niveles		
	A	B	C
Clivaje Tangencial	22a	13c	15a
	22c	13d	15b
	32a	24a	44a
	32b	24b	44b
	42a	33a	55a
	42b	33b	55b
Tensión perpend. Radial	22a	13a	15a
	22b	13b	15d
	32a	33c	54a
	32b	33d	54b
	42a	43a	55a
	42c	43b	55d
Tensión perpend. Tangencial	31a	14a	15b
	31b	14b	15c
	42b	24c	44a
	42d	24d	44b
	52a	33a	55b
	52b	33b	55c
Cizallamiento Radial	21a	22a	15a
	21b	22b	15b
	31a	32a	44a
	31b	32b	44b
	52a	43a	55a
	52b	43b	55b
Cizallamiento Tangencial	31a	24c	14a
	31b	24d	14b
	31c	43a	14c
	31d	43b	14d
	52a	43c	24a
	52b	43d	24b
Tenacidad	21a	13a	14a
	21b	13b	14b
	22a	13c	24a
	22b	13d	24b
	31a	32a	44a
	31b	33a	44c
	31d	33b	44d
	42a	43b	54c
	42b	54a	54d
	52b	54b	55b

Las claves indican el número del árbol, el número de la troza y la probeta específica respectivamente, de modo tal que la clave 31b indica que se trata de la probeta b de la troza 1 del árbol 3

**CUADRO 11: Densidades promedio y medidas de dispersión**

Densidades	Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Rango (g/cm <sup>3</sup> )		Coeficiente de Variabilidad (%)		
		mínimo	máximo	Entre arboles	Dentro del árbol	Total
Densidad Anhidra	0,41	0,32	0,50	7,6	10,6	10,7
Densidad Básica	0,37	0,30	0,44	7,5	10,0	10,3

**CUADRO 12: Valores promedio y medidas de dispersión de contracciones totales y relación T/R**

Propiedades	Promedio	Rango		Coeficiente de Variabilidad (%)		
		mínimo	máximo	Entre arboles	Dentro del árbol	Total
<b>Contracciones (%)</b>						
<b>A.-Tangencial</b>	6,21	3,25	8,05	15,1	16,7	16,0
<b>B.-Radial</b>	3,62	1,15	5,82	20,3	22,2	20,9
<b>C.-Longitudinal</b>	0,18	0,00	0,82	96,0	90,4	95,1
<b>D.-Volumetrica</b>	9,26	4,02	11,90	16,1	17,4	16,2
<b>Relación T/R</b>	1,72	1,05	3,58	18,9	22,1	20,4

**CUADRO 14: Propiedades de resistencia mecánica de *Araucaria angustifolia* de 15 años**

Propiedades	C.H. (%)	Promedio	Rango		Coeficiente de Variabilidad (%)		
			min	max	entre árbol	dentro del árbol	Total
<b>1.-Flexion estatica</b>	98,59						
ELP (kg/cm <sup>2</sup> )		271,0	184,7	332,1	12,9	12,0	12,9
MOR (kg/cm <sup>2</sup> )		402,8	311,9	465,3	11,3	8,9	11,3
MOE (ton/cm <sup>2</sup> )		78,9	60,2	108,0	15,5	13,2	17,7
<b>2.-Compresion Paralela</b>	90,20						
ELP (kg/cm <sup>2</sup> )		131,6	70,2	181,8	16,2	22,6	21,7
RM (kg/cm <sup>2</sup> )		148,9	93,6	195,3	13,2	16,6	15,7
MOE (ton/cm <sup>2</sup> )		81,6	59,2	100,0	14,1	17,1	15,4
<b>3.-Compresion Perpendicular</b>	112,34						
ELP (kg/cm <sup>2</sup> )		22,7	17,5	33,1	13,9	12,1	17,9
<b>4.-Extraccion de Clavos</b>	92,89						
Radial (kg)		89,7	51,8	138,5	20,1	19,5	20,2
Tangencial (kg)		93,9	63,9	133,2			
Extremos (kg)		64,2	32,0	113,4	30,7	15,1	21,5
<b>5.-Dureza</b>	27,34						
Radial (kg/cm <sup>2</sup> )		245,9	166,5	448,0	24,7	19,8	30,4
Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )		237,3	119,6	477,9			
Extremos (kg/cm <sup>2</sup> )		264,9	196,9	429,6	18,3	15,4	20,2
<b>6.-Clivaje</b>	158,56						
Radial (kg/cm)		25,8	18,3	34,8	14,5	15,9	14,4
Tangencial (kg/cm)		39,1	28,9	49,0	8,7	12,7	12,0
<b>7.-Tension perpendicular</b>	91,03						
Radial (kg/cm <sup>2</sup> )		19,2	15,2	24,0	8,4	12,6	12,2
Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )		33,4	28,7	41,1	9,9	9,4	11,0
<b>8.-Cizallamiento</b>	131,83						
Radial (kg/cm <sup>2</sup> )		55,3	31,7	76,0	17,1	18,7	20,3
Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )		66,8	45,1	95,9	10,7	16,9	19,2
<b>9.-Tenacidad (Kg-m)</b>	139,74	1,02	0,21	2,19	49,44	44,80	50,20

**CUADRO 15: Variación de las propiedades mecánicas dentro del árbol**

Niveles	Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión paralela (kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> )	Extracción de clavos (kg/cm <sup>2</sup> )		Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )		Clivaje (kg/cm)		Tensión perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> )		Cizallamiento (kg/cm <sup>2</sup> )		Tenacidad (kg-cm)	
	ELP	MOR	MOE	ELP	MR	MOE		Lados	Extremos	Lados	Extremos	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial		
A	295	438	85	139	155	81	27	93	73	307	322	27	41	19	37	64	77	1,40	
B	272	412	90	125	143	80	20	95	59	222	244	25	37	20	31	53	61	0,80	
C	245	363	66	132	148	83	20	86	56	210	238	26	40	19	33	47	67	0,86	
Promedio	271	403	79	132	149	82	23	92	64	242	265	26	39	19	33	55	67	1,02	
CV (%)	Dentro	12,0	8,9	13,2	22,6	16,6	17,1	12,1	19,5	15,1	19,8	15,4	15,9	12,7	12,6	9,4	18,7	16,9	44,8
	Total	12,9	11,3	17,7	21,7	15,7	15,4	17,9	20,2	21,5	30,4	20,2	14,4	12,0	12,2	11,0	20,3	19,2	50,2

**CUADRO 17: Coeficientes de determinación y ecuaciones resultantes de las regresiones lineales y cuadráticas**

Propiedades	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación (r <sup>2</sup> )	Ecuaciones
<b>1.-Contracciones</b>			
C. Tangencial	0,149	2,7 %	4,76 + 3,97 DB
C. Radial	0,004	10,8 %	1,52 + 5,71 DB
C. Longitudinal	0,454	0,8 %	0,051 + 0,314 DB
C. Volumetrica	0,391	1%	8,12 + 3,31 DB
<b>2.-Flexion estatica</b>			
ELP	0,000	52,3 %	- 12,1+ 781 DB
MOR	0,000	81%	- 57,4 + 1270 DB
MOE	0,068	17,3 %	13,9 + 180 DB
<b>3.-Compresion Paralela</b>			
ELP	0,829	0,3 %	150 - 53 DB
RM	0,775	0,5 %	129 + 57 DB
MOE	0,497	2,8 %	108 - 76 DB
<b>4.-Compresion Perpend</b>			
ELP	0,000	60,5 %	- 16,5 + 109 DB
<b>5.-Extraccion de Clavos</b>			
Lados	0,015	7,4 %	28,3 + 177 DB
Extremos	0,008	17,1 %	- 8,2 + 200 DB
<b>6.-Dureza</b>			
Lados	0,000	78,8 %	- 316 + 1465 DB
Extremos	0,000	82,2 %	- 221 + 1277 DB
<b>7.-Clivaje</b>			
Radial	0,005	46,3 %	180,49 - 899,55 DB + 1293,11 DB <sup>2</sup>
Tangencial	0,18	9,7 %	18,9 + 57,9 DB
<b>8.-Tension perpendicular</b>			
Radial	0,752	0,6 %	22,5 - 8,7 DB
Tangencial	0,015	29,9 %	7,71 + 76,2 DB
<b>9.-Cizallamiento</b>			
Radial	0,000	55,4 %	- 37,9 + 254 DB
Tangencial	0,000	68,5 %	751,34 - 3936,29 DB + 5604,03 DB <sup>2</sup>
<b>10.-Tenacidad</b>			
	0,000	40,3 %	- 2,57 + 9,77 DB

**CUADRO 18: Usos de la Araucaria angustifolia de 15 años comparada con otras especies de densidad básica similar**

Especie	Pisos	Tejas	Carpintería de obra (a)	Maderas de construcción	Durmientes	Mangos de herramientas y artículos deportivos	Instrumentos (Científicos y profesionales)	Moldes	Carrocerías	Costillas y maderamen	Construcción pesada en general	Cajonería	Obras de torneado y artesanía (b)	Encofrados	molduras laminado	contrachapado	muebles (c)	tableros de fibras y partículas	
A. angustifolia (15)		X(*)	X					X				X	X		X	X	X	X	X
Pinus ponderosa	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Abies concolor	X	X	X			X				X	X	X		X		X	X	X	
Simarouba amara			X			X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Hura crepitans			X			X				X		X		X		X	X	X	X
Podocarpus sp.			X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

(a) Incluye Carpintería, ejm: marcos de ventanas y puertas, pasos de escalera, machihembrado, barandas

(b) Incluye Ebanistería

(c) Incluye Carpintería y Ebanistería

(\*) Siempre y cuando se utilicen tratamientos adecuados de preservación y durabilidad



Valores promedio de la densidad anhidra y básica, contracciones totales y relación T/R a nivel de troza y árbol

Arbol	Troza	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		Contracción (%)				Relación T/R
		Anhidra	Básica	Tangencial	Radial	Longitudinal	Volumétrica	
1	3	0,37	0,34	6,22	3,04	0,24	7,69	2,06
	4	0,37	0,33	6,74	3,49	0,12	9,57	1,93
	5	0,37	0,34	6,34	3,55	0,11	9,27	1,82
<b>Promedio 1</b>		0,37	0,34	6,46	3,31	0,17	8,74	1,95
2	1	0,46	0,42	6,16	4,26	0,27	9,37	1,50
	2	0,41	0,37	5,99	3,68	0,15	8,89	1,63
	4	0,35	0,32	5,24	3,26	0,29	8,69	1,62
<b>Promedio 2</b>		0,43	0,39	5,96	3,95	0,24	9,14	1,51
3	1	0,47	0,42	7,11	4,25	0,11	10,67	1,69
	2	0,42	0,38	6,70	3,40	0,12	9,52	2,00
<b>Promedio 3</b>		0,44	0,40	6,86	3,74	0,12	9,98	1,84
4	2	0,45	0,42	5,30	3,14	0,33	8,15	1,72
	3	0,42	0,38	6,50	4,00	0,11	10,03	1,65
<b>Promedio 4</b>		0,43	0,39	6,18	3,77	0,17	9,53	1,64
5	2	0,37	0,33	6,56	3,79	0,04	10,33	1,75
	4	0,39	0,36	4,14	2,55	0,52	6,82	1,73
	5	0,36	0,33	5,70	3,29	0,13	9,10	1,95
<b>Promedio 5</b>		0,37	0,34	5,78	3,34	0,19	8,99	1,73
<b>Promedio Total</b>		0,41	0,37	6,21	3,62	0,18	9,26	1,72

### Comparación de las propiedades Físicas y Mecánicas con otras especies de densidad básica similar

Especie	Dens. Básica	C. Tang (%)	C. Radial (%)	C. Vol (%)	Relación T/R	Fuente
A. angustifolia	-	7,8	4	13,2	2	Mainieri et al., 1989
A. angustifolia	0,46	7,3	3,8	11,6	1,9	Wood Handbook, 1999
A. angustifolia 15a	0,37	6,21	3,62	9,26	1,72	Elaboración propia
Podocarpus sp.	0,53	6,1	3,2	9,1	1,9	JUNAC, 1981
Podocarpus sp.	0,53	7,8	3,8	-	2,1	Aróstegui et al., 1970
Hura crepitans	0,38	4,5	2,7	7,3	1,7	Wood Handbook, 1999
Hura crepitans	0,41	5,8	3,4	9	1,7	Aróstegui, 1982
Simarouba amara	0,36	6,7	2,9	9,4	2,4	JUNAC, 1981
Simarouba amara	0,36	7	2,9	8,6	2,4	Aróstegui, 1982
Abies concolor	0,37	7	3,3	9,8	2,2	Wood Handbook, 1999
Pinus ponderosa	0,38	6,2	3,9	9,7	1,6	Wood Handbook, 1999

Especie	Flexión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión paralela (Kg/cm <sup>2</sup> )			Comp perp Kg/cm <sup>2</sup>	Dureza (Kg/cm <sup>2</sup> )		Cizalle Kg/cm <sup>2</sup>	Clivaje Kg/cm <sup>2</sup>	Tens perp Kg/cm <sup>2</sup>	Tenacidad (Kg-m)	Fuente
	ELP	MOR	MOE x1000	ELP	RM	MOE x1000		ELP	Lados					
A. angustifolia	256	609	109	210	268	138	-	-	274	68	4,5	35	-	Mainieri et al., 1989
A. angustifolia	-	496	93	-	276	-	-	255	-	67	-	-	-	Wood Handbook, 1999
A. angustifolia 15a	271	403	79	132	149	82	23	242	265	61	32	26	1,02	Elaboración propia
Podocarpus sp.	366	608	99	251	302	-	57	425	365	86	-	-	2,8	JUNAC, 1981
Podocarpus sp.	331	681	107	157	327	114	67	476	520	82	44	39	2,34	Aróstegui et al., 1970
Hura crepitans	-	434	72	-	192	-	-	204	-	57	-	-	-	Wood Handbook, 1999
Hura crepitans	230	401	68	126	184	-	28	236	-	51	-	-	2	Aróstegui, 1982
Simarouba amara	-	427	77	-	201	-	33	204	227	58	-	-	1,61	JUNAC, 1981
Simarouba amara	258	427	76	159	201	-	33	204	-	57	-	-	1,6	Aróstegui, 1982
Abies concolor	-	410	80	-	200	-	19	153	-	52	-	21	-	Wood Handbook, 1999
Pinus ponderosa	-	350	69	-	169	-	19	143	-	48	-	21	-	Wood Handbook, 1999

**Comparación entre los coeficientes de variabilidad obtenidos y los de Wood Handbook**

Propiedades	Coeficiente de Variabilidad (%)			
	Entre arboles	Dentro del árbol	Total	Wood Handbook
<b>1.-Densidades</b>				
D. Anhidra	7,6	10,6	10,7	-
D. Básica	7,5	10,0	10,3	10
<b>2.-Contracciones</b>				
C. Tangencial	15,1	16,7	16,0	14
C. Radial	20,3	22,2	20,9	15
C. Longitudinal	96,0	90,4	95,1	-
C. Volumetrica	16,1	17,4	16,2	16
<b>3.-Relación T/R</b>	18,9	22,1	20,4	-
<b>4.-Flexión estatica</b>				
ELP	12,9	12,0	12,9	22
MOR	11,3	8,9	11,3	16
MOE	15,5	13,2	17,7	22
<b>5.-Compresión Paralela</b>				
ELP	16,2	22,6	21,7	24
RM	13,2	16,6	15,7	18
MOE	14,1	17,1	15,4	29
<b>6.-Compresión Perpend</b>				
ELP	13,9	12,1	17,9	28
<b>7.-Extracción de Clavos</b>				
Radial	20,1	19,5	20,2	-
Tangencial				
Extremos				
Extremos	30,7	15,1	21,5	
<b>8.-Dureza</b>				
Radial	24,7	19,8	30,4	17
Tangencial				
Extremos				
Extremos	18,3	15,4	20,2	20
<b>9.-Clivaje</b>				
Radial	14,5	15,9	14,4	-
Tangencial	8,7	12,7	12,0	
<b>10.-Tensión perpend</b>				
Radial	8,4	12,6	12,2	25
Tangencial	9,9	9,4	11,0	
<b>11.-Cizallamiento</b>				
Radial	17,1	18,7	20,3	14
Tangencial	10,7	16,9	19,2	
<b>12.-Tenacidad</b>	49,4	44,8	50,2	34

**Clasificación de las propiedades fisico-mecánicas a partir de los rangos propuestos por Aróstegui**

Propiedades	Promedio	Clasificación
1.-Densidad Básica	0,37	Baja
2.-Contracción Volumétrica	9,26	Baja
3.-Flexion estatica (MOR)	402	Baja
4.-Compresión Paralela (RM)	148	Baja
5.-Compresion Perpendicular (ELP)	22,6	Baja
6.-Dureza de Lados	241	Baja
7.-Cizallamiento	61	Media

### Rangos de Clasificación de las Maderas según sus Propiedades Físicas y Mecánicas

Grupo	Propiedades Físicas		Propiedades Mecánicas (kg/cm <sup>2</sup> )					Clasificación
	Densidad Básica	Contracción Volumétrica %	Flexión estática (MOR)	Compresión Paralela (RM)	Compresión Perpendicular (ELP)	Dureza Lados	Cizallamiento	
I	< 0,3	< 7	< 300	< 120	< 10	< 100	< 30	Muy Baja
II	0,3 - 0,4	7,0 - 10,0	300 - 500	120 - 240	10,0 - 40	100 - 300	30 - 60	Baja
III	0,41 - 0,6	10,1 - 13	501 - 800	241 - 360	41 - 70	301 - 600	61 - 90	Media
IV	0,61 - 0,75	13,1 - 15	801 - 1000	361 - 480	71 - 100	601 - 900	91 - 120	Alta
V	> 0,75	> 15	> 1000	> 480	> 100	> 900	> 120	Muy Alta

Fuente: Aróstegui, 1982

**Análisis de variancia para la regresión de las propiedades físicas y mecánicas en función de la densidad básica**

Propiedades físicas	Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	caudrado medio	F calculado	Probabilidad (p)
1.-Contracciones						
C. Tangencial	Regresión	1	1,83	1,83	2,12	0,149
	Error	76	65,30	0,86		
	Total	77	67,12			
C. Radial	Regresión	1	3,71	3,71	9,07	0,004
	Error	75	30,62	0,41		
	Total	76	34,33			
C. Longitudinal	Regresión	1	0,01	0,01	0,57	0,454
	Error	75	1,44	0,02		
	Total	76	1,45			
C. Volumetrica	Regresión	1	1,27	1,27	0,74	0,391
	Error	75	127,89	1,71		
	Total	76	129,16			

Propiedades mecánicas	Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	cuadrado medio	F calculado	Probabilidad (p)
<b>2.-Flexion estatica</b>						
ELP	Regresión	1	12796	12796	19,77	0,000
	Error	18	11650	647		
	Total	19	24446			
MOR	Regresión	1	33805	33805	76,85	0,000
	Error	18	7918	440		
	Total	19	41723			
MOE	Regresión	1	676	676	3,77	0,068
	Error	18	3226	179		
	Total	19	3902			
<b>3.-Compresion Paralela</b>						
ELP	Regresión	1	43	43	0,05	0,829
	Error	18	16245	903		
	Total	19	16288			
RM	Regresión	1	51	51	0,08	0,775
	Error	18	10819	601		
	Total	19	10869			
MOE	Regresión	1	83	83	0,51	0,497
	Error	18	2916	162		
	Total	19	2998			
<b>4.-Compresion Perpend</b>						
ELP	Regresión	1	198,73	198,73	27,54	0,000
	Error	18	129,88	7,22		
	Total	19	328,61			
<b>5.-Extraccion de Clavos</b>						
Lados	Regresión	1	2049	2049	6,22	0,015
	Error	78	25700	329		
	Total	79	27749			
Extremos	Regresión	1	1307	1307	7,86	0,008
	Error	38	6320	166		
	Total	39	7627			
<b>6.-Dureza</b>						
Lados	Regresión	1	57327	57327	66,97	0,000
	Error	18	15408	856		
	Total	19	72735			
Extremos	Regresión	1	43549	43549	82,87	0,000
	Error	18	9459	526		
	Total	19	53008			
<b>7.-Clivaje</b>						
Radial	Regresión	2	127,58	127,58	14,66	0,005
	Error	17	147,94	8,70		
	Total	19	275,51			
Tangencial	Regresión	1	42,62	42,62	1,94	0,18
	Error	18	394,92	21,94		
	Total	19	437,54			
<b>8.-Tension perpendicular</b>						
Radial	Regresión	1	0,56	0,56	0,10	0,752
	Error	17	91,74	5,40		
	Total	18	92,30			
Tangencial	Regresión	1	74,34	74,34	7,27	0,015
	Error	17	173,92	10,23		
	Total	18	248,26			
<b>9.-Cizallamiento</b>						
Radial	Regresión	1	1394,7	1394,7	22,34	0,000
	Error	18	1123,5	62,4		
	Total	19	2518,2			
Tangencial	Regresión	2	1629,3	1629,3	32,61	0,000
	Error	15	749,5	50,0		
	Total	17	2378,8			
<b>10.-Tenacidad</b>						
	Regresión	1	3,16	3,16	18,87	0,000
	Error	28	4,69	0,17		
	Total	29	7,85			